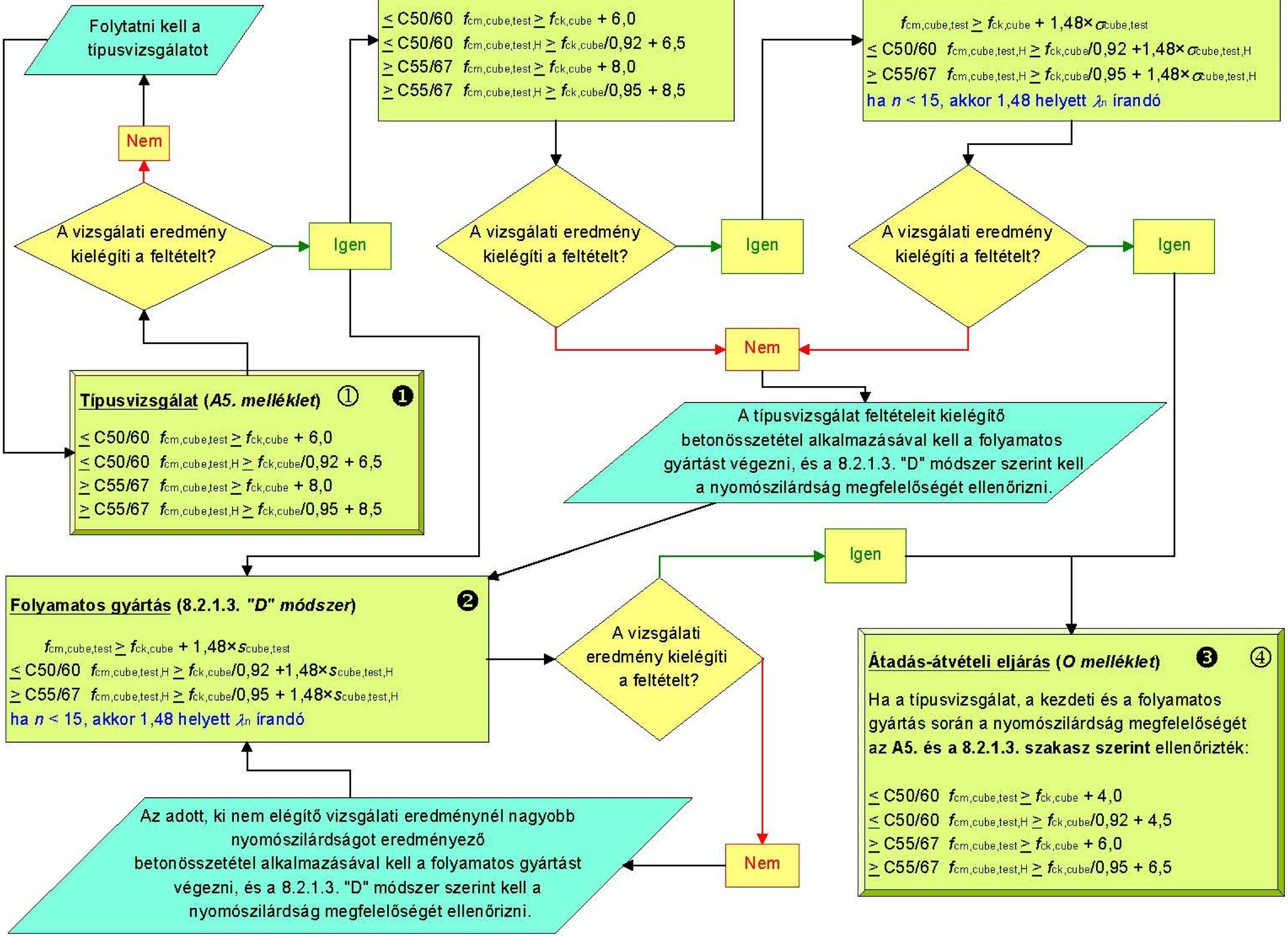
2. RÉSZ **Megszilárdult beton témaköre** 2. RÉSZ
Beton nyomószilárdság vizsgálati eredmények értékelésének folyamatábrái *(2016. március)*
Beton nyomószilárdsági osztályának értelmezése és változása 1949-től napjainkig *(2011. július)*
Beton nyomószilárdságának jellemző értéke (karakterisztikája) és a víz-cement tényező közötti összefüggés *(2016. március)*
Beton nyomószilárdságának matematikai statisztikai értékelési rendje (*2014. december*)
Beton nyomószilárdságok előírt jellemző értékeinek határhányadosa. Konstans alulmaradási tágasságok viszonya *(2016. február)*
Beton-nyomószilárdság értékelése ***Weibull***-eloszlással *(**2022.** május)*
Beton XD2 környezeti osztályba sorolása. Az acélbetét korróziója kloridok hatására *(2016. augusztus, frissítve: 2020. december)*

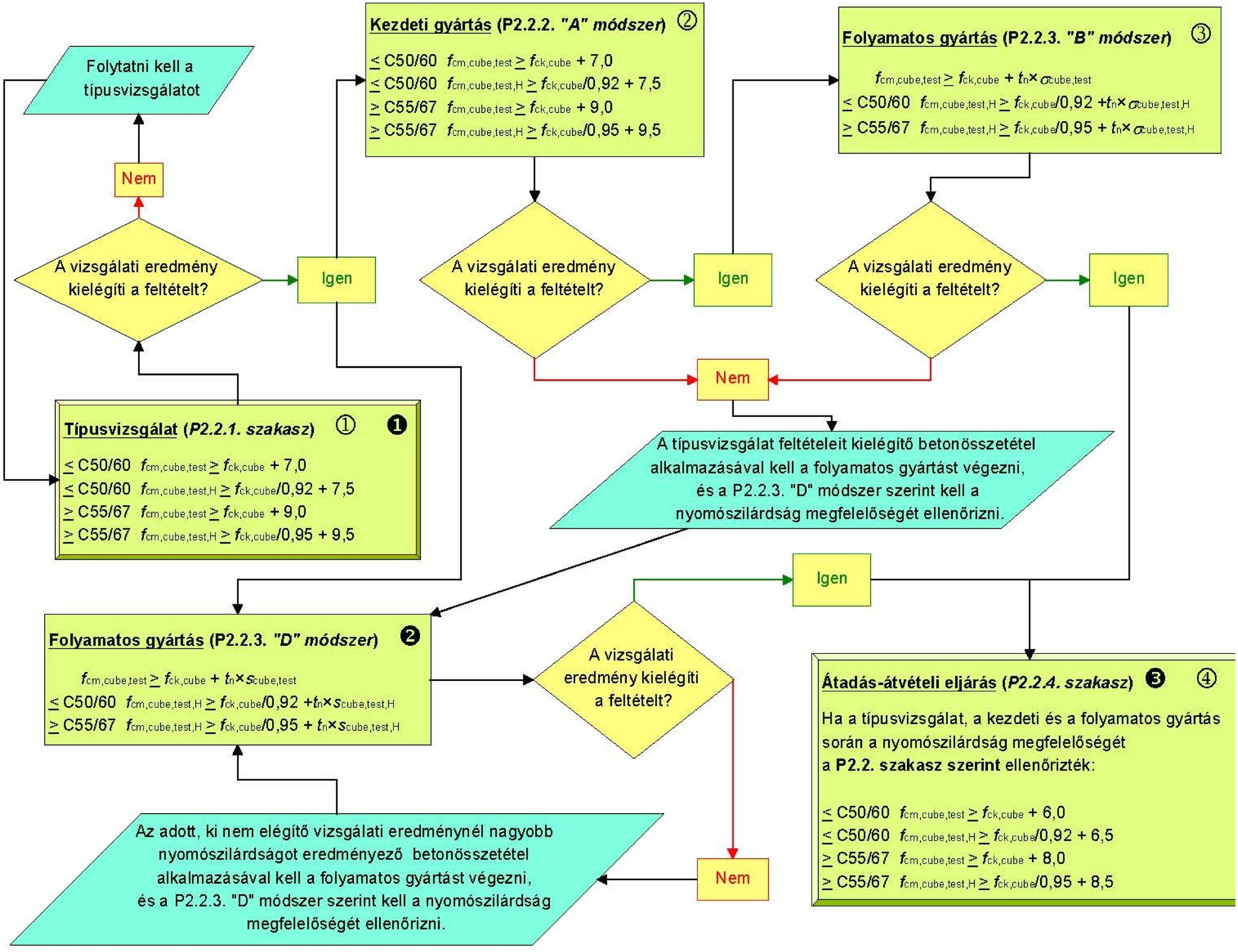


1. ábra: Folyamatábra a nyomószilárdság vizsgálat eredményének ($f_{cm,cube,test}$, $f_{cm,cube,test,H}$) értékelésére 70%-os elfogadási valószínűség mellett (MSZ 4798:2016)

1. táblázat: A λ_n alulmaradási (*Taerwe*) tényező értéke a vizsgálati eredmények *n* számának függvényében

Vizsgálati eredmények száma *n*	Alulmaradási (*Taerwe*) tényező λ_n
3	2,67
4	2,20
5	1,99
6	1,87
7	1,77
8	1,72
9	1,67

Vizsgálati eredmények száma *n*	Alulmaradási (*Taerwe*) tényező λ_n
10	1,62
11	1,58
12	1,55
13	1,52
14	1,50
15	1,48



2. ábra: Folyamatábra a nyomószilárdság vizsgálat eredményének ($f_{cm,cube,test}$, $f_{cm,cube,test,H}$) értékelésére 50%-os elfogadási valószínűség mellett (MSZ 4798:2016)

2. táblázat: A t_n alulmaradási (*Student*) tényező értéke a vizsgálati eredmények *n* számának függvényében

Vizsgálati eredmények száma *n*	Alulmaradási (*Student*) tényező t_n
3	2,920
4	2,353
5	2,132
6	2,015
7	1,943
8	1,895
9	1,860
10	1,833

Vizsgálati eredmények száma *n*	Alulmaradási (*Student*) tényező t_n
11	1,812
12	1,796
13	1,782
14	1,771
15	1,761
20	1,729
∞	1,645

A nyomószilárdság számításba vehető legkisebb szórása a nyomószilárdság vizsgálat eredményének mind 70%-os, mind 50%-os elfogadási valószínűség melletti értékelése során

- ha a ≤ **C50/60** nyomószilárdsági osztályú próbakockákat kizsaluzás után **végig víz alatt** tárolták, akkor:

$$\sigma_{cube,test,min} = 3{,}0 \text{ N/mm}^2, \text{ illetve } s_{cube,test,min} = 3{,}0 \text{ N/mm}^2$$

- ha a ≤ **C50/60** nyomószilárdsági osztályú próbakockákat kizsaluzás után **vegyesen** tárolták, akkor:

$$\sigma_{cube,test,min,H} = 3{,}3 \text{ N/mm}^2, \text{ illetve } s_{cube,test,min,H} = 3{,}3 \text{ N/mm}^2$$

- ha a ≥ **C55/67** nyomószilárdsági osztályú (nagyszilárdságú beton) próbakockákat kizsaluzás után **végig víz** tárolták, akkor:

$$\sigma_{cube,test,min} = 5{,}0 \text{ N/mm}^2, \text{ illetve } s_{cube,test,min} = 5{,}0 \text{ N/mm}^2$$

- ha a ≥ **C55/67** nyomószilárdsági osztályú (nagyszilárdságú beton) próbakockákat kizsaluzás után **vegyesen** tárolták, akkor:

$$\sigma_{cube,test,min,H} = 5{,}3 \text{ N/mm}^2, \text{ illetve } s_{cube,test,min,H} = 5{,}3 \text{ N/mm}^2$$

A BETON NYOMÓSZILÁRDSÁGI OSZTÁLYÁNAK ÉRTELMEZÉSE ÉS VÁLTOZÁSA 1949-TŐL NAPJAINKIG

A beton legfontosabb tulajdonsága általában a nyomószilárdság, és szilárdság szerinti besorolása szempontjából a nyomószilárdsági osztály. Mind a beton nyomószilárdságának követelménye és vizsgálata, mind a nyomószilárdsági osztály értelmezése a kezdetektől máig sokat változott.

Például az 1926. évi Építésügyi Szabályzat függeléke IV. 1. B) fejezetének V. szakasza úgy rendelkezett, hogy „hajlított vasbeton gerendákban a betonban nyomásra 50 kg/cm^2, lemezeknél 45 kg/cm^2 lehet az igénybevétel. Oszlopokban, ha az excentrikus terhelésből származó feszültség ki van számítva, 50 kg/cm^2, centrikus nyomásra számítható oszlopoknál 40 kg/cm^2 lehet a beton nyomó igénybevétele.” A beton oszlopokban a betonra megengedhető fenti igénybevételt, ha a karcsúság (oszlopmagasság osztva a kisebbik keresztmetszeti mérettel) > 15 és ≤ 20 közé esett, akkor 0,8-del, ha > 20 és ≤ 25 közé esett 0,6-del szorozták.

Az egykori Építésügyi Szabályzat így folytatta: „A vasbetonhoz használandó beton olyan legyen, hogy a belőle vasformában készített 20 cm élhosszúságú próbakockák szilárdsága 6 hetes korukban 160 kg/cm^2 legyen. Kivételesen sürgős esetekben a 4 hetes próba is elegendő. Ily korában a betonnak szilárdsága 140 kg/cm^2 legyen, a szilárdságot úgy értelmezve, hogy 4 darab kocka közül 3-nak ezt a szilárdságot el kell érnie.”

Ha az egykori 4-5 N/mm^2 értékű megengedett beton határfeszültségeket a mai – legyünk szerények, például C50/60 nyomószilárdsági osztályú betonhoz tartozó –, a tartós szilárdságot is figyelembe vevő f_{cd} = 28 N/mm^2 tervezési értékkel, vagy az egykori, küszöb értéknek tekinthető 14,0 N/mm^2 követelményt a mai $f_{ck,cube}$ = 60 N/mm^2 jellemző értékkel összevetjük, egyértelmű a 85 év alatt végbement fejlődés.

Az összevetés során azonban rögtön felvetődik a kérdés, hogy az adott számértékek minden további meggondolás nélkül összehasonlíthatók-e, ugyan azon feltétel rendszerben értelmezendők-e. A válasz kézen fekvő: nem, hiszen a méretezés módja, a biztonság fogalma (a biztonsági tényező értéke a korábbi – mint *Pécsi Eszter* 1947-ben írta – ~ 2,5-ről 1,5-re csökkent), a vizsgálati módszer, a jellemző érték számításának módja, tehát a számértékek mögött álló feltételek 85 év alatt többszörös változáson mentek keresztül.

Tekintsük át ezeket a változásokat a szabványok és műszaki irányelvek alapján 1949-től napjainkig:

- 1949 és 1982 között a próbatestek **200 mm** méretű kockák voltak, amelyeket **vegyesen** tároltak.
- 1982 és 2002 között a próbatestek **Ø150·300 mm** méretű hengerek és **150 mm** méretű kockák voltak, amelyeket **vegyesen** tároltak.
- 2002 és 2004 között az európai szabványoknak megfelelően a próbatestek **Ø150·300 mm** méretű hengerek és **150 mm** méretű kockák voltak, amelyeket végig **víz alatt** tároltak.
- 2004 óta a szabványos **Ø150·300 mm** méretű hengereket és **150 mm** méretű kockákat az európai szabványoknak megfelelően végig **víz alatt** kell tárolni, de a magyar nemzeti alkalmazási feltételek szabványa (MSZ 4798-1:2004) szerint a **vegyes tárolás is** megengedett.
- 1949 és 1977 között a betont a nyomószilárdság **átlag** értékével kellett **minősíteni** és **jelölni**, **kp/cm^2**-ben. Példa a beton jelére: B 280
- 1977 és 1982 között a betont már a nyomószilárdság **jellemző** értékével kellett **minősíteni**, de a beton **jelében** még a nyomószilárdság **átlag** értékét kellett szerepeltetni, **kp/cm^2**-ben. Példa a beton jelére: B 280
- 1982 és 2002 között a beton nyomószilárdságát a **vegyesen** tárolt **Ø150·300 mm** méretű hengerek nyomószilárdságának **jellemző** értékével kellett **minősíteni** és **jelölni, N/mm^2**-ben. Példa a beton jelére: C 25
- 2002 óta az európai szabványoknak megfelelően a beton nyomószilárdságát a végig **víz alatt** tárolt **Ø150·300 mm** méretű hengerek, illetve **150 mm** méretű kockák

nyomószilárdságának jellemző értékével kell **minősíteni**, és ezek tört vonallal elválasztott értékével kell **jelölni**, **N/mm^2**-ben. Példa a beton jelére: C20/25

- 1977 és 1980 között a beton **jellemző** értékét az $R_{k,200,vegyes} = 0{,}7 \cdot R_{m,200,vegyes}$ összefüggéssel határozták meg.
- 1980 és 1982 között a beton **jellemző** értékét az $R_{k,200,vegyes} = 0{,}75 \cdot R_{m,200,vegyes}$ összefüggéssel határozták meg.
- 1982 és 2002 között a beton **jellemző** értékét az $R_{k,vegyes} = R_{m,vegyes} - k \cdot t \cdot s$ összefüggéssel kellett meghatározni.
- 2002 óta az európai szabványokban a beton nyomószilárdsága **jellemző** értékének és átlag értékének kapcsolatát többféle, egymástól különböző módon fejezik ki. A méretezési szabvány (Eurocode 2, érvényes változata: MSZ EN 1992-1-1:2010) szerint: $f_{ck,cyl} = f_{cm,cyl} - 8$; a betonszabvány (érvényes változata: MSZ EN 206-1:2000/A2:2005) szerint kezdeti gyártás esetén: $f_{ck} = f_{cm} - 4$ ($\geq$C55/67 osztály esetén: $f_{ck} = f_{cm} - 5$); folyamatos gyártás esetén: $f_{ck} = f_{cm} - \lambda \cdot s$, (ha $n = 15$, akkor $\lambda = 1{,}48$).
- 1971 és 1980 között a meg nem felelő tétel **elfogadási valószínűsége**: 50 %, az **alulmaradási hányad**: 2,28 %, az **alulmaradási tényező** értéke: 2,0. Az alulmaradási tényező értéke a $K_{átlag} = K_{küszöb}/(1 - 2 \cdot s/K_{átlag}) \rightarrow K_{átlag} - 2 \cdot s = K_{küszöb}$ összefüggésből adódik.
- 1980 és 2002 között a meg nem felelő tétel **elfogadási valószínűsége**: 50 %, az **alulmaradási hányad**: 5,0 %, az **alulmaradási tényező** értéke, $t_{>40}$: 1,645.
- 2002 óta az európai betonszabvány szerint (MSZ EN 206-1) a meg nem felelő tétel **elfogadási valószínűsége**: 70 %, az **alulmaradási hányad**: 5,0 %, az **alulmaradási tényező** értéke, $\lambda_{\geq 15}$: 1,48.
- 1951 és 1971 között a **biztonsági tényező** értéke, értve alatta a kockaszilárdság átlag értékének és a határfeszültségnek a hányadosát ($R_{m,200,vegyes}/\sigma_{bH}$), a kockaszilárdság függvényében változott, például B 140 betonminőség esetén 2,00; B 400 betonminőség esetén 2,35 volt. A biztonsági tényező az 1956. évi Közúti Hídszabályzat szerint helyszínen készült vasbeton szerkezetek esetén, ha a beton minősége B 200, akkor 2,20, ha B 400, akkor 2,85; helyszínen készült feszített vasbeton szerkezetek esetén, ha a beton minősége B 280, akkor 2,45, ha B 560, akkor 3,10 volt.
- 1971 és 1982 között a **biztonsági tényező** értéke, értve alatta a kockaszilárdság átlag értékének és a határfeszültségnek a hányadosát $R_{m,200,vegyes}/\sigma_{bH} = 2{,}0$ volt.
- 1982 és 1986 között a **biztonsági tényező** értéke, értve alatta a hengerszilárdság küszöbértékének (jellemző érték) és a határfeszültségnek a hányadosát ($R_{k,cyl,vegyes}/\sigma_{bH}$), a nyomószilárdsági osztály (azaz a hengerszilárdság küszöbértékének) függvényében változott, például C 20 nyomószilárdsági osztály esetén 1,25; C 55 nyomószilárdsági osztály esetén 1,45 volt.
- 1986 és 2010 között a **biztonsági tényező** értéke, értve alatta a hengerszilárdság küszöbértékének (jellemző érték) és a határfeszültségnek a hányadosát ($R_{k,cyl,vegyes}/\sigma_{bH}$), a nyomószilárdsági osztály (azaz a hengerszilárdság küszöbértékének) függvényében változott, például C 25/30 nyomószilárdsági osztály esetén 1,38; C 50/60 nyomószilárdsági osztály esetén 1,58 volt.
- 2010 óta az európai méretezési szabvány (MSZ EN 1992-1-1:2010) szerint a **biztonsági tényező** értéke, értve alatta a hengerszilárdság küszöbértékének (jellemző érték) és a nyomószilárdság tervezési értékének a hányadosát ($f_{ck,cyl,víz\ alatt}/f_{cd}$), a tartós szilárdság figyelembevétele nélkül általában 1,5; a tartós szilárdság figyelembevételével általában 1,77.

A beton nyomószilárdság jellemzésének fentiekben vázolt változásait grafikusan az **1. ábrán** mutatjuk be. A hisztogramok a szabványok érvényének időtartamát mutatják. Az **1. ábrán** bejelöltük a szabványos nyomószilárdságok jellemzőinek érvényességének időszakát.

Az **1. ábra** vízszintes tengelyén lévő sorszámokhoz a következő szabványok, műszaki előírások tartoznak:

1 MNOSZ 934:1949 „Beton és alapanyagainak vizsgálata”
Előző szabvány: – Következő szabvány: MNOSZ 934:1951

2 MNOSZ 934:1951 „Beton és alapanyagainak vizsgálata”
Előző szabvány: MNOSZ 934:1949 Következő szabvány: MSZ 4715:1955

3 MNOSZ 15022:1951 Á „Épületek teherhordó szerkezeteinek méretezése. Vasbetonszerkezetek”

4 MNOSZ 15022:1952 „Épületek teherhordó szerkezeteinek méretezése. Vasbetonszerkezetek”
Előző szabvány: MNOSZ 15022:1951 Á Következő szabvány: MSZ 15022-1:1961

5 MNOSZ 15022 Mt (1955. III.) „Épületek teherhordó szerkezetei. Vasbetonszerkezetek. Anyag. Statikus méretezés.” (Mt = Módosító tervezet)
Előző szabvány: MNOSZ 15022:1952 Következő szabvány: MSZ 15022-1:1961

6 MNOSZ 4715:1955 „Megszilárdult beton vizsgálata”
Előző szabvány: MNOSZ 934:1951 Következő szabvány: MSZ 4715:1955 K (1959)

7 MSZ 15023:1958 „Épületek teherhordó szerkezetei. Kő- tégla-, vasalt tégla- és beton-szerkezetek méretezése”
Előző szabvány: MSZ 15023:1953

8 MSZ 4715:1955 K (1959) „Megszilárdult beton vizsgálata”
Előző szabvány: MNOSZ 4715:1955 Következő szabvány: MSZ 4715:1961

9 MSZ 4719:1958 „A betonok fajtái és jelölésük”
Előző szabvány: Következő szabvány: MSZ 4719:1977

10 MSZ 4715:1961 „Megszilárdult beton vizsgálata”
Előző szabvány: MSZ 4715:1955 Következő szabvány: MSZ 4715-4:1972

11 MSZ 4720:1961 „A betonok minőségi követelményei és minősítésük”
Előző szabvány: Következő szabvány: MSZ 4720-2:1980

12 MSZ 15022-1:1961 „Épületek teherhordó szerkezetei. Vasbetonszerkezet. Méretezés”
Előző szabvány: MNOSZ 15022:1952 Következő szabvány: MSZ 15022-1:1971

13 MSZ 16030:1963 „Előregyártott vasbeton és feszítettbeton elemek. Vizsgálat és minősítés”
Előző szabvány: MNOSZ 16030:1954 Következő szabvány: MSZ 16030-1:1988

14 MSZ 15022-1:1961-K 1964 „Épületek teherhordó szerkezetei. Vasbetonszerkezet. Méretezés”
Előző szabvány: MSZ 15022-1:1961 Következő szabvány: MSZ 15022-1:1971

15 MSZ 15022-1:1961-K 1967 „Épületek teherhordó szerkezetei. Vasbetonszerkezet. Méretezés”
Előző szabvány: MSZ 15022-1:1961 Következő szabvány: MSZ 15022-1:1971

16 ME-19-63 „Beton és vasbeton készítése” Műszaki előírás. Építésügyi Minisztérium Műszaki Fejlesztési Főosztálya. Építésügyi Tájékoztató Központ, 1963.
1. számú módosító kiegészítés megjelent: 1967.
Előző műszaki előírás: nem ismert Következő műszaki irányelv: ÉSZKMI 19-77

17 MSZ 15022-1:1971 „Épületek teherhordó szerkezeteinek erőtani tervezése. Vasbetonszerkezet”
Előző szabvány: MSZ 15022-1:1961 és MSZ 15022-2:1961
Következő szabvány: MSZ 15022-1:1971 M (1980)

18 MSZ 4715-4:1972 „Megszilárdult beton vizsgálata. Mechanikai tulajdonságok roncsolásos vizsgálata”
Előző szabvány: MSZ 4715:1961 Következő szabvány: MSZ 4715-4:1987

19 MSZ 4719:1977 „A betonok fajtái, jelölésük és minőségi követelményeik”
Előző szabvány: MSZ 4719:1958 Következő szabvány: MSZ 4719:1982

20 ÉSZKMI 19-77 „Beton és vasbeton készítése” Műszaki irányelv. Építésügyi Szabványosítási Központ. Építésügyi Tájékoztató Központ, 1977.
1. számú kiegészítés: ÉSZKMI 19-77 K (1977) II. rész. „Tömeges felhasználású különleges betonok” megjelent: 1978.
Előző műszaki előírás: ME-19-63 Következő műszaki irányelv: MI-04.19-81

21 MSZ KGST 1406:1978 „Beton- és vasbetonszerkezetek tervezési alapelvei”
Nem érvénytelenít egyetlen szabványt sem. Következő szabvány: MSZ 15022-1:1986
Jóváhagyás időpontja: 1981. február 13. Hatálybalépés időpontja: 1983. január 1.

22 MSZ 15022-1:1971 M (1980) „Épületek teherhordó szerkezeteinek erőtani tervezése. Vasbetonszerkezet”
Előző szabvány: MSZ 15022-1:1971 Következő szabvány: MSZ 15022-1:1971 M (1982)

23 MSZ 4720-2:1980 „A beton minőségének ellenőrzése. Általános tulajdonságok ellenőrzése”
Előző szabvány: MSZ 4720:1961
Következő szabvány: MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004

24 MI-04.19-81 „Beton és vasbeton készítése” építésügyi ágazati műszaki irányelv. Építésügyi Szabványosítási Központ. Építésügyi Tájékoztató Központ, 1981.
1. számú módosító kiegészítés: MI-04.19-81 M (1983), megjelent: 1984.
Előző műszaki irányelv: ÉSZKMI 19-77 Következő műszaki előírás: MÉASZ ME-04.19:1995

25 MSZ 4719:1982 „Betonok”
Előző szabvány: MSZ 4719:1977
Következő szabvány: MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004
(Az MSZ 4719:1982 szabvány 1985 februárjában kelt, a módosításokat is tartalmazó 3. kiadása szerint az érvényre lépés időpontja: 1983. január 1., de az F2. függelék szerint az új nyomószilárdsági minősítési értékek tekintetében 1984. január 1.)

26 MSZ 15022-1:1971 M (1982) „Épületek teherhordó szerkezeteinek erőtani tervezése. Vasbetonszerkezet”
Előző szabvány: MSZ 15022-1:1971 M (1980) Következő szabvány: MSZ 15022-1:1986

27 MSZ 15022-1:1986 „Épületek teherhordó szerkezeteinek erőtani tervezése. Vasbeton szerkezetek”
Előző szabvány: MSZ 15022-1:1971, MSZ 15022-1:1971 M (1982), MSZ KGST 1406:1978 Következő szabvány: MSZ EN 1992-1-1:2010

28 MSZ 15022-2:1986 „Épületek teherhordó szerkezeteinek erőtani tervezése. Feszített vasbeton szerkezetek”
Előző szabvány: MSZ 15022-2:1972 Következő szabvány: MSZ EN 1992-1-1:2010

29 MSZ 15022-3:1986 „Épületek teherhordó szerkezeteinek erőtani tervezése. Betonszerkezetek”
Előző szabvány: MSZ 15022-3:1972 Következő szabvány: MSZ EN 1992-1-1:2010

30 MSZ 4715-4:1987 „Mechanikai tulajdonságok roncsolásos vizsgálata”
Előző szabvány: MSZ 4715-4:1972 Következő szabvány: MSZ EN 12390-2 és -3:2002

31 MSZ 15227:1980 M (1984) „Vízépítési műtárgyak vasbeton szerkezeteinek erőtani tervezése”
Az MSZ 15227:1980 szabványhoz Következő szabvány: MSZ 15227:1980 M (1988)

32 MSZ 15227:1980 M (1988) „Vízépítési műtárgyak vasbeton szerkezeteinek erőtani tervezése” Az MSZ 15227:1980 szabványhoz
Előző szabvány: MSZ 15227:1980 M (1984)
Következő szabvány: MSZ EN 1992-1-1:2010

33 MÉASZ ME-04.19:1995 „Beton és vasbeton készítése” Műszaki előírás
Előző műszaki irányelv: MI-04.19-81

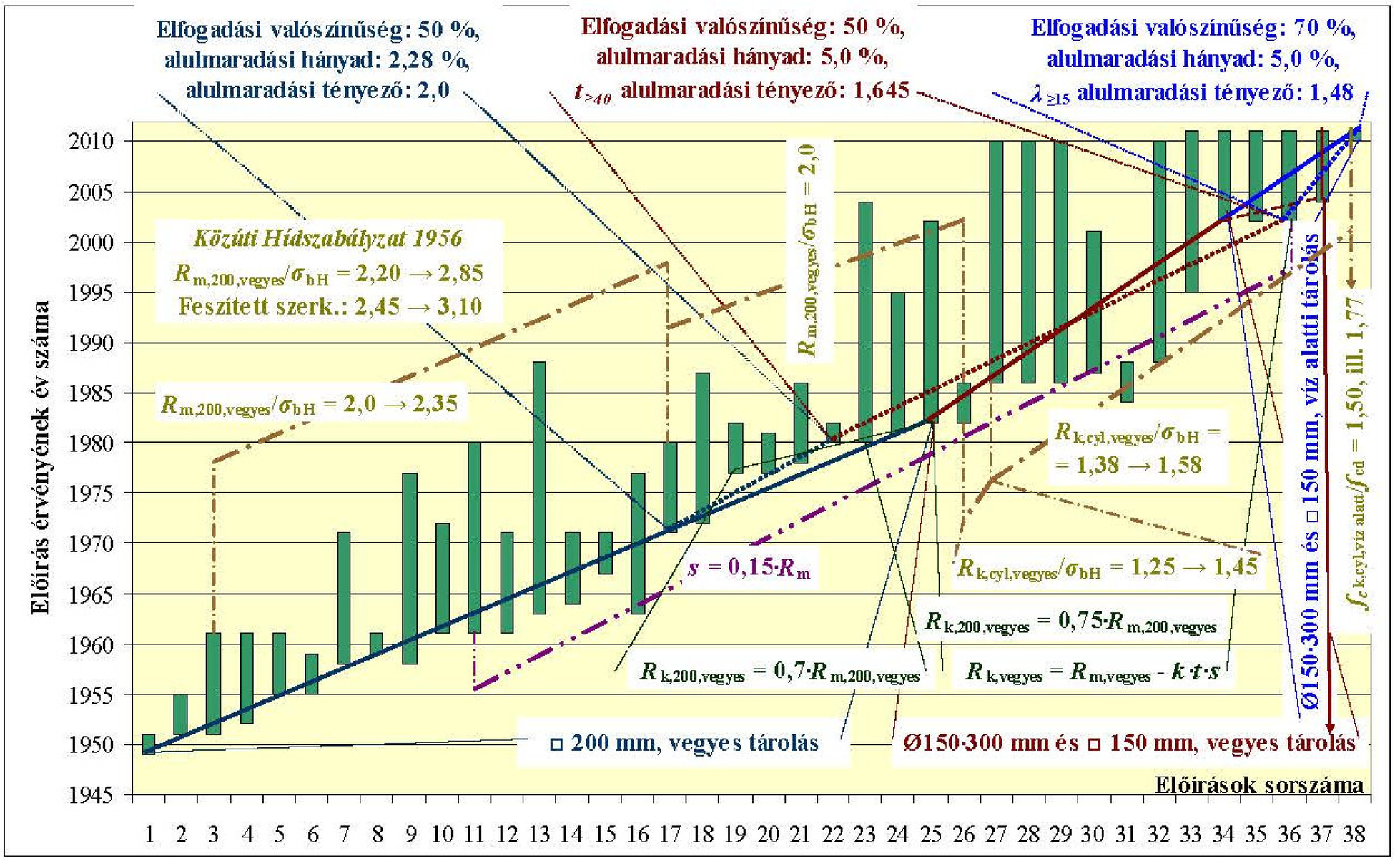
34 MSZ EN 12390-2:2002 „A megszilárdult beton vizsgálata. 2. rész: Szilárdságvizsgálati próbatestek készítése és tárolása”
Előző szabvány: MSZ 4715-4:1987

35 MSZ EN 12390-3:2002 „A megszilárdult beton vizsgálata. 3. rész: A próbatestek nyomószilárdsága”
Előző szabvány: MSZ 4715-4:1987

36 MSZ EN 206-1:2002 „Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség”
Előző szabvány: MSZ 4719:1982 és MSZ 4720-2:1980

37 MSZ 4798-1:2004 „Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség, valamint az MSZ EN 206-1 alkalmazási feltételei Magyarországon”
Előző szabvány: MSZ 4719:1982 és MSZ 4720-2:1980

38 MSZ EN 1992-1-1:2010 „Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok”
Előző szabvány: MSZ 15022-1, -2 és -3:1986



1. ábra: A beton nyomószilárdság jellemzésének változásai

Foglaljuk össze szabványosítási időszakonként a szabványos nyomószilárdságok jellemzőit:

1949-1951 A próbatestek **200 mm** méretű kockák voltak, amelyeket **vegyesen** tároltak. A betont a nyomószilárdság **átlag** értékével kellett **minősíteni** és **jelölni**, **kp/cm^2**-ben. Példa a beton jelére: B 280.

1951-1971 A próbatestek **200 mm** méretű kockák voltak, amelyeket **vegyesen** tároltak. A betont a nyomószilárdság **átlag** értékével kellett **minősíteni** és **jelölni**, **kp/cm^2**-ben. Példa a beton jelére: B 280. A **biztonsági tényező** értéke, értve alatta a kockaszilárdság átlag értékének és a határfeszültségnek a hányadosát ($R_{m,200,vegyes}/\sigma_{bH}$), a kockaszilárdság függvényében változott, például B 140 betonminőség esetén 2,00; B 400 betonminőség esetén 2,35 volt. A biztonsági tényező az 1956. évi *Közúti Hídszabályzat* szerint helyszínen készült vasbeton szerkezetek esetén, ha a beton minősége B 200, akkor 2,20, ha B 400, akkor 2,85; helyszínen készült feszített vasbeton szerkezetek esetén, ha a beton minősége B 280, akkor 2,45, ha B 560, akkor 3,10 volt.

1971-1977 A próbatestek **200 mm** méretű kockák voltak, amelyeket **vegyesen** tároltak. A betont a nyomószilárdság **átlag** értékével kellett **minősíteni** és **jelölni**, **kp/cm^2**-ben. Példa a beton jelére: B 280. A meg nem felelő tétel **elfogadási valószínűsége**: 50 %, az **alulmaradási hányad**: 2,28 %, az **alulmaradási tényező** értéke: 2,0. Az alulmaradási tényező értéke a $K_{átlag} = K_{küszöb}/(1 - 2 \cdot s/K_{átlag}) \rightarrow K_{átlag} - 2 \cdot s = K_{küszöb}$ összefüggésből adódik. A **biztonsági tényező** értéke, értve alatta a kockaszilárdság átlag értékének és a határfeszültségnek a hányadosát $R_{m,200,vegyes}/\sigma_{bH} = 2,0$ volt.

1977-1980 A próbatestek **200 mm** méretű kockák voltak, amelyeket **vegyesen** tároltak. A betont már a nyomószilárdság **jellemző** értékével kellett **minősíteni**, de a beton **jelében** még a nyomószilárdság **átlag** értékét kellett szerepeltetni, **kp/cm^2**-ben. Példa a beton jelére: B 280. A beton **jellemző** értékét az $R_{k,200,vegyes} = 0,7 \cdot R_{m,200,vegyes}$ összefüggéssel határozták meg. A meg nem felelő tétel **elfogadási valószínűsége**: 50 %, az **alulmaradási hányad**: 2,28 %, az **alulmaradási tényező** értéke: 2,0. Az alulmaradási tényező értéke a $K_{átlag} = K_{küszöb}/(1 - 2 \cdot s/K_{átlag}) \rightarrow K_{átlag} - 2 \cdot s = K_{küszöb}$ összefüggésből adódik. A **biztonsági tényező** értéke, értve alatta a kockaszilárdság átlag értékének és a határfeszültségnek a hányadosát $R_{m,200,vegyes}/\sigma_{bH} = 2,0$ volt.

1980-1982 A próbatestek **200 mm** méretű kockák voltak, amelyeket **vegyesen** tároltak. A betont már a nyomószilárdság **jellemző** értékével kellett **minősíteni**, de a beton **jelében** még a nyomószilárdság **átlag** értékét kellett szerepeltetni, **kp/cm^2**-ben. Példa a beton jelére: B 280. A beton **jellemző** értékét az $R_{k,200,vegyes} = 0,75 \cdot R_{m,200,vegyes}$ összefüggéssel határozták meg. A meg nem felelő tétel **elfogadási valószínűsége**: 50 %, az **alulmaradási hányad**: 5,0 %, az **alulmaradási tényező** értéke, $t_{>40}$: 1,645. A **biztonsági tényező** értéke, értve alatta a kockaszilárdság átlag értékének és a határfeszültségnek a hányadosát $R_{m,200,vegyes}/\sigma_{bH} = 2,0$ volt.

1982-1986 A próbatestek **Ø150·300 mm** méretű hengerek és **150 mm** méretű kockák voltak, amelyeket **vegyesen** tároltak. A beton nyomószilárdságát a **vegyesen** tárolt **Ø150·300 mm** méretű hengerek nyomószilárdságának **jellemző** értékével kellett **minősíteni** és **jelölni, N/mm^2**-ben. Példa a beton jelére: C 25. A beton **jellemző** értékét az $R_{k,vegyes} = R_{m,vegyes} - k \cdot t \cdot s$ összefüggéssel kellett meghatározni. A meg nem felelő tétel **elfogadási valószínűsége**: 50 %, az **alulmaradási hányad**: 5,0 %, az **alulmaradási tényező** értéke, $t_{>40}$: 1,645. A **biztonsági tényező** értéke, értve alatta a hengerszilárdság küszöbértékének (jellemző érték) és a határfeszültségnek a hányadosát ($R_{k,cyl,vegyes}/\sigma_{bH}$), a nyomószilárdsági osztály (azaz a hengerszilárdság küszöbértékének) függvényében változott, például C 20 nyomószilárdsági osztály esetén 1,25; C 55 nyomószilárdsági osztály esetén 1,45 volt.

1986-2002 A próbatestek **Ø150·300 mm** méretű hengerek és **150 mm** méretű kockák voltak, amelyeket **vegyesen** tároltak. A beton nyomószilárdságát a **vegyesen** tárolt **Ø150·300 mm** méretű hengerek nyomószilárdságának **jellemző** értékével kellett **minősíteni** és **jelölni, N/mm^2**-ben. Példa a beton jelére: C 25. A beton **jellemző** értékét az $R_{k,vegyes} = R_{m,vegyes} - k \cdot t \cdot s$ összefüggéssel kellett meghatározni. A meg nem felelő tétel **elfogadási valószínűsége**: 50 %, az **alulmaradási hányad**: 5,0 %, az **alulmaradási tényező** értéke, $t_{>40}$: 1,645. A **biztonsági tényező** értéke, értve alatta a hengerszilárdság küszöbértékének (jellemző érték) és a határfeszültségnek a hányadosát ($R_{k,cyl,vegyes}/\sigma_{bH}$), a nyomószilárdsági osztály (azaz a hengerszilárdság küszöbértékének) függvényében változott, például C 20 nyomószilárdsági osztály esetén 1,38; C 55 nyomószilárdsági osztály esetén 1,58 volt.

2002-2004 A próbatestek **Ø150·300 mm** méretű hengerek és **150 mm** méretű kockák voltak, amelyeket végig **víz alatt** tároltak. Az európai szabványoknak megfelelően a beton nyomószilárdságát a végig **víz alatt** tárolt **Ø150·300 mm** méretű hengerek, illetve **150 mm** méretű kockák nyomószilárdságának jellemző értékével kell **minősíteni**, és ezek tört vonallal elválasztott értékével kell **jelölni**, **N/mm^2**-ben. Példa a beton jelére: C20/25. Az európai szabványokban a beton nyomószilárdsága **jellemző** értékének és átlag értékének kapcsolatát többféle, egymástól különböző módon fejezik ki. A méretezési szabvány (Eurocode 2, érvényes változata: MSZ EN 1992-1-1:2010) szerint: $f_{ck,cyl} = f_{cm,cyl} - 8$; a betonszabvány (érvényes változata: MSZ EN 206-1:2000/A2:2005) szerint kezdeti gyártás esetén: $f_{ck} = f_{cm} - 4$ (≥C55/67 osztály esetén: $f_{ck} = f_{cm} - 5$); folyamatos gyártás esetén: $f_{ck} = f_{cm} - \lambda \cdot s$, (ha $n = 15$, akkor $\lambda = 1{,}48$). Az európai betonszabvány szerint (MSZ EN 206-1) a meg nem felelő tétel **elfogadási valószínűsége**: 70 %, az **alulmaradási hányad**: 5,0 %, az **alulmaradási tényező** értéke, $\lambda_{\geq 15}$: 1,48. A **biztonsági tényező** értéke, értve alatta a hengerszilárdság küszöbértékének (jellemző érték) és a határfeszültségnek a hányadosát ($R_{k,cyl,vegyes}/\sigma_{bH}$), a nyomószilárdsági osztály (azaz a hengerszilárdság küszöbértékének) függvényében változott, például C 25/30 nyomószilárdsági osztály esetén 1,38; C 50/60 nyomószilárdsági osztály esetén 1,58 volt.

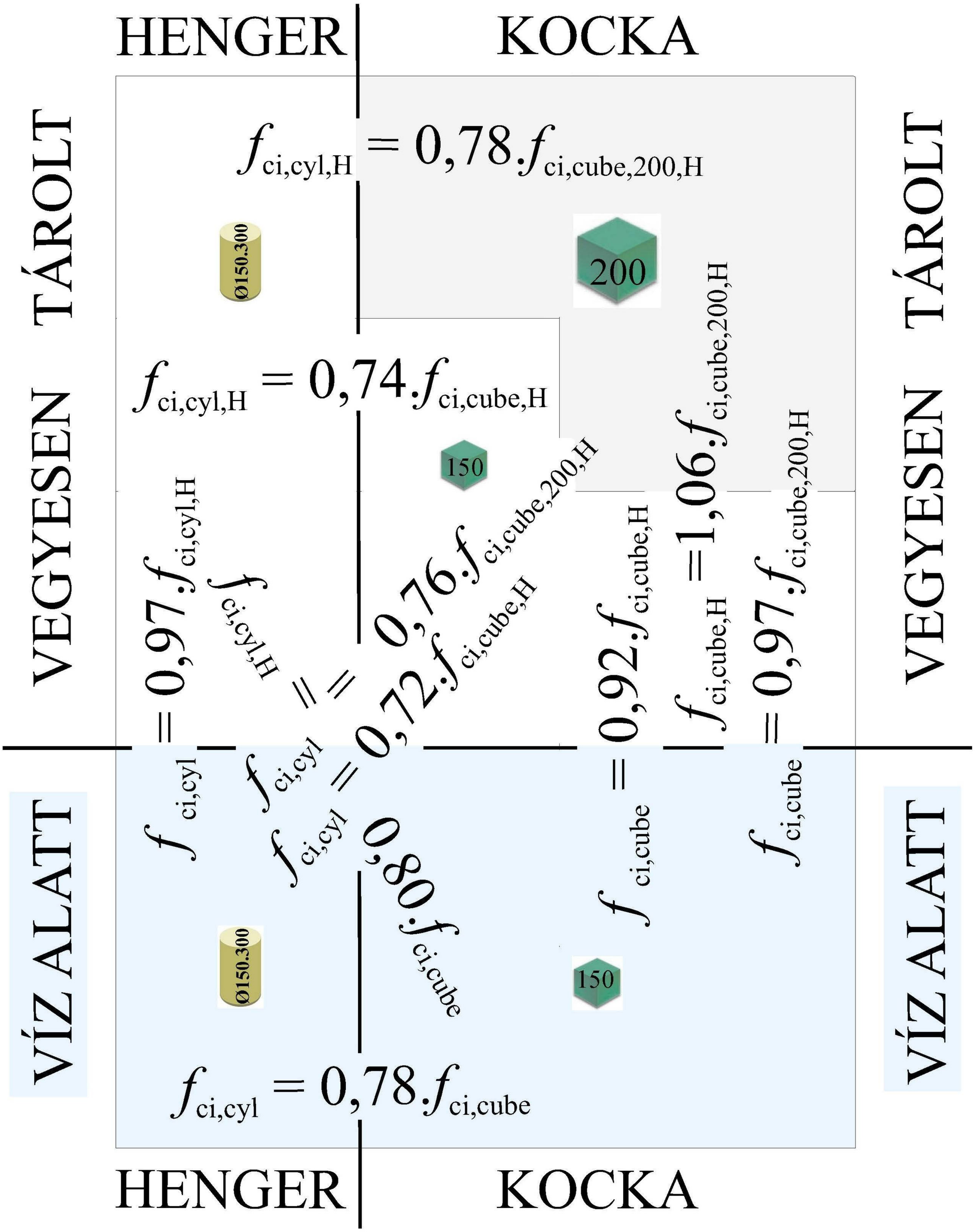
2004-2010 A szabványos **Ø150·300 mm** méretű hengereket és **150 mm** méretű kockákat az európai szabványoknak megfelelően végig **víz alatt** kell tárolni, de a magyar nemzeti alkalmazási feltételek szabványa (MSZ 4798-1:2004) szerint a **vegyes tárolás is** megengedett. Az európai szabványoknak megfelelően a beton nyomószilárdságát a végig **víz alatt** tárolt **Ø150·300 mm** méretű hengerek, illetve **150 mm** méretű kockák nyomószilárdságának jellemző értékével kell **minősíteni**, és ezek tört vonallal elválasztott értékével kell **jelölni**, **N/mm^2**-ben. Példa a beton jelére: C20/25. Az európai szabványokban a beton nyomószilárdsága **jellemző** értékének és átlag értékének kapcsolatát többféle, egymástól különböző módon fejezik ki. A méretezési szabvány (Eurocode 2, érvényes változata: MSZ EN 1992-1-1:2010) szerint: $f_{ck,cyl} = f_{cm,cyl} - 8$; a betonszabvány (érvényes változata: MSZ EN 206-1:2000/A2:2005) szerint kezdeti gyártás esetén: $f_{ck} = f_{cm} - 4$ (≥C55/67 osztály esetén: $f_{ck} = f_{cm} - 5$); folyamatos gyártás esetén: $f_{ck} = f_{cm} - \lambda \cdot s$, (ha $n = 15$, akkor $\lambda = 1{,}48$). Az európai betonszabvány szerint (MSZ EN 206-1) a meg nem felelő tétel **elfogadási valószínűsége**: 70 %, az **alulmaradási hányad**: 5,0 %, az **alulmaradási tényező** értéke, $\lambda_{\geq 15}$: 1,48. A **biztonsági tényező** értéke, értve alatta a hengerszilárdság küszöbértékének (jellemző érték) és a határfeszültségnek a hányadosát ($R_{k,cyl,vegyes}/\sigma_{bH}$), a nyomószilárdsági osztály (azaz a hengerszilárdság küszöbértékének) függvényében változott, például C 25/30 nyomószilárdsági osztály esetén 1,38; C 50/60 nyomószilárdsági osztály esetén 1,58 volt.

2010 óta A szabványos **Ø150·300 mm** méretű hengereket és **150 mm** méretű kockákat az európai szabványoknak megfelelően végig **víz alatt** kell tárolni, de a magyar nemzeti alkalmazási feltételek szabványa (MSZ 4798-1:2004) szerint a **vegyes tárolás is** megengedett. Az európai szabványoknak megfelelően a beton nyomószilárdságát a végig **víz alatt** tárolt **Ø150·300 mm** méretű hengerek, illetve **150 mm** méretű kockák nyomószilárdságának jellemző értékével kell **minősíteni**, és ezek tört vonallal elválasztott értékével kell **jelölni**, **N/mm^2**-ben. Példa a beton jelére: C20/25. Az európai szabványokban a beton nyomószilárdsága **jellemző** értékének és átlag értékének kapcsolatát többféle, egymástól különböző módon fejezik ki. A méretezési szabvány (Eurocode 2, érvényes változata: MSZ EN 1992-1-1:2010) szerint: $f_{ck,cyl} = f_{cm,cyl} - 8$;

a betonszabvány (érvényes változata: MSZ EN 206-1:2000/A2:2005) szerint kezdeti gyártás esetén: $f_{ck} = f_{cm} - 4$ (≥C55/67 osztály esetén: $f_{ck} = f_{cm} - 5$); folyamatos gyártás esetén: $f_{ck} = f_{cm} - \lambda \cdot s$, (ha $n = 15$, akkor $\lambda = 1{,}48$). Az európai betonszabvány szerint (MSZ EN 206-1) a meg nem felelő tétel **elfogadási valószínűsége**: 70 %, az **alulmaradási hányad**: 5,0 %, az **alulmaradási tényező** értéke, $\lambda_{\geq 15}$: 1,48. Az európai méretezési szabvány (MSZ EN 1992-1-1:2010) szerint a **biztonsági tényező** értéke, értve alatta a hengerszilárdság küszöbértékének (jellemző érték) és a nyomószilárdság tervezési értékének a hányadosát ($f_{ck,cyl,víz\ alatt}/f_{cd}$), a tartós szilárdság figyelembevétele nélkül általában 1,5; a tartós szilárdság figyelembevételével általában 1,77.

Minthogy – mint a fentiekben láttuk –, szabványosítási időszakonként változtak a szabványos nyomószilárdság meghatározásának feltételei, e feltételek változása magával hozta az egy és ugyanazon beton átlagos nyomószilárdsága számértékének időszakonkénti változását is. Az **1. táblázatban** az egymásnak megfelelő átlagos beton nyomószilárdságokat mutatjuk be. A különböző feltételekhez tartozó átlagos nyomószilárdságokat a **2. ábra** beli összefüggések segítségével feleltettük meg egymással. Az összefüggések forrása – értelemszerűen alkalmazva az átlagos nyomószilárdságokra – az MSZ 4798-1:2004 szabvány. Az alkalmazott összefüggéseket az **1. táblázatban** is feltüntettük, és úgy gondoljuk, hogy ezek kerekítésből adódó – kétféle úton számított egyazon adatra vonatkozó –, esetleges tizedes nagyságrendű eltérések mondandónkat nem befolyásolják.

Hangsúlyozni kell, hogy a **2. ábra** szerinti összefüggéseket összehasonlító kísérletek eredményei alapján írták fel, következésképpen azok fizikai tartalmat fejeznek ki, ezért ezek az összefüggések kizárólag az R_m vagy f_{cm} jelű átlagos nyomószilárdságok kapcsolatának kifejezésére alkalmasak, és teljesen alkalmatlanok a különböző időszakonkénti nyomószilárdságok jellemző értékének átszámítására, hiszen az átlagos nyomószilárdságok viszonyát az alulmaradási tágasság (t_n·s, illetve $\lambda_n \cdot s$) eltorzítja. Magyarán, a **2. ábra** összefüggéseiben R_m helyett R_k-t, vagy f_{cm} helyett f_{ck}-t írni nem szabad, mert akkor ezek az összefüggések elvesztik érvényüket. (Sajnos erre a körülményre az MSZ 4798-1:2004 szabvány nincs tekintettel.)



2. ábra: Összefüggések különböző feltételekhez tartozó egyes, illetve átlagos nyomószilárdságok között

Az **1. táblázat** szerinti egymásnak megfelelő átlagos nyomószilárdságokból és a szabványosítási időszakban érvényes alulmaradási tágasságokból kiszámítottuk az adott beton nyomószilárdsági osztályát úgy, hogy viszonyítási alapként az 1977 előtt érvényes szabványok szerinti átlagos nyomószilárdságokat tekintettük. A számítás részleteit és eredményét a **2. és 3. táblázat** tartalmazza. A **3. táblázatból** például kiolvasható, hogy az 1951-1982 közötti B 560 jelű beton átlagos nyomószilárdsága az 1982-2002 közötti C 35 jelű, majd 2002 óta az Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2010) szerinti C30/37 jelű, a betonszabvány (MSZ EN 206-1:2002) szerinti C40/50 jelű beton átlagos nyomószilárdságának felel meg.

A **3. táblázatban** szó esik a „reménybeli” magyar előírásról, amelyben a nyomószilárdság értékelését 50 % elfogadási valószínűség mellett, a t_n *Student*-tényező alkalmazásával kellene végezni, és például vegyesen tárolt 150 mm méretű próbakockák vizsgálata esetén úgy, hogy minden meghatározott $f_{ci,cube,test,H}$ egyes nyomószilárdsági értékeket az $f_{ci,cube,test,H}/1{,}4 = f_{ci,cyl,test}$ összefüggés (esetleg a pontosabb 1,39 osztó) segítségével átszámítjuk a végig víz alatt tárolt Ø150·300 mm méretű próbahengernek megfelelő egyedi nyomószilárdságra, és ezeket értékelve határozzuk meg a $f_{cm,cyl,test}$ átlagos nyomószilárdságot és az $f_{ck,cyl,test}$ jellemző értéket, illetve a nyomószilárdsági osztályt (*Kausay*, 2008.). E módszer alkalmazásával az átlagos nyomószilárdság alapján a példa beli B 560 jelű beton napjaink C35/45 jelű betonjával egyenértékű.

Az 1977 előtti időkben nyolc nyomószilárdsági osztály volt, míg napjainkban azok száma a C55/67 jelű nyomószilárdsági osztályig tizenegy. Ezért is – és az értelmezés kiterjesztése érdekében is – érdemes az egymásnak megfelelő átlagos nyomószilárdságú betonok szabványos és reménybeli nyomószilárdsági osztályát az Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2010) szabvány szerinti átlagos nyomószilárdságokhoz viszonyítva is összehasonlítani. Ezt az egybevetést a **4. és 5. táblázatban** végeztük el.

Ennek megfelelően a **2. és 3. táblázat** arra a kérdésre ad választ, hogy az 1977 előtt érvényes szabványok szerinti átlagos nyomószilárdságú betonok nyomószilárdsági osztálya mely ennek megfelelő, 1977 után érvényes szabványok szerinti átlagos nyomószilárdságú betonok nyomószilárdsági osztályának felel meg. Ugyanakkor a **4. és 5. táblázat** arra a kérdésre keresi a választ, hogy a 2002 óta érvényes Eurocode 2 (mai verziója MSZ EN 1992-1-1:2010) szabvány szerinti átlagos nyomószilárdságú betonok nyomószilárdsági osztálya mely ennek megfelelő, 2002 előtt érvényes szabványok szerinti átlagos nyomószilárdságú betonok nyomószilárdsági osztályának felel meg.

A **3. és 5. táblázatban** a „reménybeli” magyar nyomószilárdsági osztályokat a mai európai szokás szerint szimmetrikus eloszlás feltételezésével határoztuk meg. Ugyanakkor még jól emlékszünk, arra, hogy „az MSZ 4720-2:19:1980 szabvány az $R_m = 20$ N/mm^2 szilárdságú betonra fogadja el a normális eloszlás lehetőségét – amelyről köztudott, hogy szimmetrikus –; fokozatosan kisebb átlagszilárdság mellett az eloszlás fokozatos balra ferdülését, míg fokozatosan nagyobb átlagszilárdság mellett az eloszlás fokozatos jobbra ferdülését feltételezi”, írta *dr. Ujhelyi János* a *dr. Szalai Kálmán* által szerkesztett könyvben (1982), és a ferdeséget az alulmaradási tágasság $k = 0{,}54 + 0{,}1027 \cdot \sqrt{R_m}$ szorzótényezőjének bevezetésével vette figyelembe. E megállapítás helyességében ma sincs okunk kételkedni, ezért a **6. táblázatban** az eloszlás ferdeségének figyelembevételével is kiszámítottuk a „reménybeli” magyar nyomószilárdsági osztályokat.

1. táblázat: Egymásnak megfelelő átlagos nyomószilárdságok

Időszak					
1951-1982	1982-2002		2002 óta		
Mértékegység					
(kg/cm^2) N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2
$R_{m,cube,200,H}$	$R_{m,cyl,H}$	$R_{m,cube,H}$	$f_{cm,cyl}$	$f_{cm,cube,H}$	$f_{cm,cube}$
(50) 5	3,9	5,3	3,8	5,3	4,9
(70) 7	5,5	7,4	5,3	7,4	6,8
(100) 10	7,8	10,6	7,6	10,6	9,7
(140) 14	10,9	14,8	10,6	14,7	13,6
(200) 20	15,6	21,2	15,1	21,0	19,4
(280) 28	21,8	29,6	21,2	29,4	27,2
(350) 35	27,3	37,1	26,5	36,8	34,0
(400) 40	31,2	42,4	30,3	42,1	38,9
(500) 50	39,0	53,0	37,8	52,5	48,5
(560) 56	43,7	59,4	42,4	58,9	54,4
– {58,8}	46,1	**62,3**	44,9	62,4	57,5
– {63,9}	50,1	**67,7**	48,7	67,6	62,4
– {69,0}	54,1	**73,1**	52,6	73,1	67,3
– {74,2}	58,2	**78,6**	56,6	78,6	72,6
		$0,72 \cdot R_{m,cube,H} = f_{cm,cyl}$			
$0,78 \cdot R_{m,cube,200,H} = R_{m,cyl,H}$		$0,92 \cdot R_{m,cube,H} = f_{cm,cube}$			
	$(1/0,74) \cdot R_{m,cyl,H} = R_{m,cube,H}$		$(1/0,78) \cdot f_{m,cyl} = f_{cm,cube}$		
$1,06 \cdot R_{m,cube,200,H} = R_{m,cube,H}$			$(1/0,72) \cdot f_{m,cyl} = f_{cm,cube,H}$		
	$0,97 \cdot R_{m,cyl,H} = f_{cm,cyl}$			$0,92 \cdot f_{cm,cube,H} = f_{cm,cube}$	
$0,76 \cdot R_{m,cube,200,H} = f_{cm,cyl}$					
$0,97 \cdot R_{m,cube,200,H} = f_{cm,cube}$					

2. táblázat: Egymásnak megfelelő átlagos nyomószilárdságú betonok szabványos nyomószilárdsági osztálya az 1977 előtt érvényes szabványok szerinti átlagos nyomószilárdságokhoz viszonyítva

1951-1982	1982-2002		2002 óta					
Osztály	$R_{m,cube,H} - k \cdot t \cdot s = R_{k,cube,H}$	Osztály	$f_{cm,cyl} - 8 = f_{ck,cyl}$	Osztály	$0{,}92 \cdot (f_{cm,cube,H} - 4) = f_{ck,cube}$	Osztály	$0{,}92 \cdot (f_{cm,cube,H} - \lambda \cdot s) = f_{ck,cube}$	Osztály
B 50	1,06·50/10-3,3 = 2,0 < 5,0	–	3,8-8 < 8	–	0,92·(5,3-4) = 1,6 < 10	–	0,92·(5,3-4,4) = 0,8 < 10	–
B 70	1,06·70/10-4,4 = 3,0 < 5,0	–	5,3-8 < 8	–	0,92·(7,4-4) = 3,1 < 10	–	0,92·(7,4-4,4) = 2,8 < 10	–
B 100	1,06·100/10-6,0 = 4,6 < 5,0	–	7,6-8 < 8	–	0,92·(10,6-4) = 6,1 < 10	–	0,92·(10,6-4,4) = 5,7 < 10	–
B 140	1,06·140/10-8,4 = 6,4 > 5,0	C 4	10,6-8 = 2,6 < 8	–	0,92·(14,7-4) = 9,8 < 10	–	0,92·(14,7-4,4) = 9,5 < 10	–
B 200	1,06·200/10-12,9 = 8,3 > 7,5	C 6	15,1-8 = 7,1 < 8	–	0,92·(21,0-4) = 15,6 > 15	C12/15	0,92·(21,0-4,4) = 15,3 > 15	C12/15
B 280	1,06·280/10-14,1 = 15,5 > 15	C 12	21,2-8 = 13,2 > 12	C12/15	0,92·(29,4-4) = 23,4 > 20	C16/20	0,92·(29,4-4,4) = 23,0 > 20	C16/20
B 350*	1,06·350/10-14,9 = 22,2 > 20	C 16	26,5-8 = 18,5 > 16	C16/20	0,92·(36,8-4) = 30,2 > 30	C25/30	0,92·(36,8-4,4) = 29,8 > 25	C20/25
B 400	1,06·400/10-15,5 = 26,9 > 25	C 20	30,3-8 = 22,3 > 20	C20/25	0,92·(42,1-4) = 35,1 > 30	C25/30	0,92·(42,1-4,4) = 34,7 > 30	C25/30
B 500*	1,06·500/10-16,5 = 36,5 > 35	C 30	37,8-8 = 29,8 > 25	C25/30	0,92·(52,5-4) = 44,5 > 37	C30/37	0,92·(52,5-4,4) = 44,3 > 37	C30/37
B 560	1,06·560/10-17,0 = 42,4 > 40	C 35	42,4-8 = 34,4 > 30	C30/37	0,92·(58,9-4) = 50,5 > 50	C40/50	0,92·(58,9-4,4) = 50,1 > 50	C40/50
*A B 350 és B 500 jelű nyomószilárdsági osztály az 1982 előtti Vasúti Hídszabályzatban szerepelt	62,3-17,3 = 45	C 40	44,9-8 = 36,9 > 35	C35/45	0,92·(62,4-4) = 53,7 > 50	C40/50	0,92·(62,4-4,4) = 53,4 > 50	C40/50
	67,7-17,7 = 50	C 45	48,7-8 = 40,7 > 40	C40/50	0,92·(67,6-4) = 58,5 > 55	C45/55	0,92·(67,6-4,4) = 58,1 > 55	C45/55
	73,1-18,1= 55	C 50	52,6-8 = 44,6 > 40	C40/50	0,92·(73,1-4) = 63,6 > 60	C50/60	0,92·(73,1-4,4) = 63,2 > 60	C50/60
	78,6-18,6= 60	C 55	56,6-8 = 48,6 > 45	C45/55	0,92·(78,6-4) = 68,6 > 67	C55/67	0,92·(78,6-4,4) = 68,3 > 67	C55/67
	Ha n = 5 és t = 2,132 és a szórás ismeretlen. Lásd: MSZ 4720-2:1980		Lásd: Eurocode 2, ma érvényes változata: MSZ EN 1992-1-1:2010		Kezdeti gyártás		Folyamatos gyártás Ha n = 15, λ = 1,48 és s_{min} = 3,0 N/mm^2	
					Lásd: MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004			
	Elfogadási valószínűség: 50 %						Elfogadási valószínűség: 70 %	

3. táblázat: Egymásnak megfelelő átlagos nyomószilárdságú betonok szabványos és reménybeli nyomószilárdsági osztálya az 1977 előtt érvényes szabványok szerinti átlagos nyomószilárdságokhoz viszonyítva

A szabványos nyomószilárdsági osztályok összefoglalása a 2. táblázatból					Reménybeli magyar előírás			
1951-1982	1982-2002	2002 óta			$f_{cm,cyl} - t \cdot s = f_{ck,cyl}$	Osztály	$f_{cm,cyl} - t \cdot s = f_{ck,cyl}$	Osztály
B 50	–	–	–	–	3,8-4,6 < 8	–	3,8-4,0 < 8	–
B 70	–	–	–	–	5,3-4,6 = 0,7 < 8	–	5,3-4,0 = 1,3 < 8	–
B 100	–	–	–	–	7,6-4,6 = 3,0 < 8	–	7,6-4,0 = 3,6 < 8	–
B 140	C 4	–	–	–	10,6-4,6 = 6,0 < 8	–	10,6-4,0 = 6,6 < 8	–
B 200	C 6	–	C12/15	C12/15	15,1-4,6 = 10,5 > 8	C8/10	15,1-4,0 = 11,1 > 8	C8/10
B 280	C 12	C12/15	C16/20	C16/20	21,2-4,6 = 16,6 > 16	C16/20	21,2-4,0 = 17,2 > 16	C16/20
B 350*	C 16	C16/20	C25/30	C20/25	26,5-4,6 = 21,9 > 20	C20/25	26,5-4,0 = 22,5 > 20	C20/25
B 400	C 20	C20/25	C25/30	C25/30	30,3-4,6 = 25,7 > 25	C25/30	30,3-4,0 = 26,3 > 25	C25/30
B 500*	C 30	C25/30	C30/37	C30/37	37,8-4,6 = 33,2 > 30	C30/37	37,8-4,0 = 33,8 > 30	C30/37
B 560	C 35	C30/37	C40/50	C40/50	42,4-4,6 = 37,8 > 35	C35/45	42,4-4,0 = 38,4 > 35	C35/45
*A B 350 és B 500 jelű nyomószilárdsági osztály az 1982 előtti Vasúti Hídszabályzatban szerepelt	C 40	C35/45	C40/50	C40/50	44,9-4,6 = 40,3 > 40	C40/50	44,9-4,0 = 40,9 > 40	C40/50
	C 45	C40/50	C45/55	C45/55	48,7-4,6 = 44,1 > 40	C40/50	48,7-4,0 = 44,7 > 40	C40/50
	C 50	C40/50	C50/60	C50/60	52,6-4,6 = 48,0 > 45	C45/55	52,6-4,0 = 48,6 > 45	C45/55
	C 55	C45/55	C55/67	C55/67	56,6-4,6 = 52,0 > 50	C50/60	56,6-4,0 = 52,6 > 50	C50/60
	Ha n = 5 t = 2,132 s = ismeretlen MSZ 4720-2:1980	Eurocode 2, ma érvényes változata: MSZ EN 1992-1-1:2010	Kezdeti gyártás	Folyamatos gyártás	Ha n = 5 és t = 2,132 $s_{min,cyl}$ = 3,0/1,4 = 2,14 N/mm^2		Ha n = 9 és t = 1,860 $s_{min,cyl}$ = 3,0/1,4 = 2,14 N/mm^2	
			MSZ EN 206-1:2002 MSZ 4798-1:2004		Szimmetrikus eloszlás feltételezésével			
	Elfogadási valószínűség: 50 %			Elfogadási valószínűség: 70 %	Elfogadási valószínűség: 50 %			

4. táblázat: Egymásnak megfelelő átlagos nyomószilárdságú betonok szabványos nyomószilárdsági osztálya az Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2010) szabvány szerinti átlagos nyomószilárdságokhoz viszonyítva

1951-1982		1982-2002		2002 óta					
$R_{m,cube,H}/1,06=R_{m,cube,200,H}$	Osztály	$R_{m,cube,H} - k \cdot t \cdot s = R_{k,cube,H}$	Osztály	$f_{cm,cyl} - 8 = f_{ck,cyl}$	Osztály	$0,92 \cdot (f_{cm,cube,H} - 4) = f_{ck,cube}$	Osztály	$0,92 \cdot (f_{cm,cube,H} - \lambda \cdot s) = f_{ck,cube}$	Osztály
10·2,8/1,06 = 26 < 50	–	2/0,72-3,0 < 5	–	2 -8 < 8	–	0,92·(2,8-4) = 16,7 < 10	–	0,92·(2,8-4,4) < 10	–
10·5,6/1,06 = 53 > 50	B 50	4/0,72-3,6 = 2,0 < 5	–	4-8 < 8	–	0,92·(5,6-4) = 1,5 < 10	–	0,92·(5,6-4,4) = 1,1 < 10	–
10·11,1/1,06 = 105 > 100	B 100	8/0,72-6,4 = 4,7 < 5	–	8-8 < 8	–	0,92·(11,1-4) = 6,5 < 10	–	0,92·(11,1-4,4) = 6,2 < 10	–
10·16,7/1,06 = 158 > 140	B 140	12/0,72-10,0 = 6,7 > 5,0	C 4	12-8 = 4 < 8	–	0,92·(16,7-4) = 11,7 > 10	C8/10	0,92·(16,7-4,4) = 11,3 > 10	C8/10
10·22,2/1,06 = 209 > 200	B 200	16/0,72-13,1 = 9,1 > 7,5	C 6	**16**-8 = 8	**C8/10**	0,92·(22,2-4) = 16,7 > 15	C12/15	0,92·(22,2-4,4) = 16,4 > 15	C12/15
10·27,8/1,06 = 262 > 200	B 200	20/0,72-13,8 = 14,0 > 12,5	C 10	**20**-8 = 12	**C12/15**	0,92·(27,8-4) = 21,9 > 20	C16/20	0,92·(27,8-4,4) = 21,5 > 20	C16/20
10·33,3/1,06 = 314 > 280	B 280	24/0,72-14,5 = 18,8 > 15	C 12	**24**-8 = 16	**C16/20**	0,92·(33,3-4) = 27,0 > 25	C20/25	0,92·(33,3-4,4) = 26,6 > 25	C20/25
10·38,9/1,06 = 367 > 350	B 350*	28/0,72-15,1 = 23,8 > 20	C 16	**28**-8 = 20	**C20/25**	0,92·(38,9-4) = 32,1 > 30	C25/30	0,92·(38,9-4,4) = 31,7 > 30	C25/30
10·45,8/1,06 = 432 > 400	B 400	33/0,72-15,8 = 30,0	C 25	**33**-8 = 25	**C25/30**	0,92·(45,8-4) = 38,5 > 37	C30/37	0,92·(45,8-4,4) = 38,1 > 37	C30/37
10·52,8/1,06 = 498 ~ 500	B 500*	38/0,72-16,5 = 36,3 > 35	C 30	**38**-8 = 30	**C30/37**	0,92·(52,8-4) = 44,9 ~ 45	C35/45	0,92·(52,8-4,4) = 44,5 > 37	C30/37
10·59,7/1,06 = 563 > 560	B 560	43/0,72-17,1 = 42,6 > 40	C 35	**43**-8 = 35	**C35/45**	0,92·(59,7-4) = 51,2 > 50	C40/50	0,92·(59,7-4,4) = 50,9 > 50	C40/50
–	–	48/0,72-17,6 = 49,1 > 45	C 40	**48**-8 = 40	**C40/50**	0,92·(66,7-4) = 57,7 > 55	C45/55	0,92·(66,7-4,4) = 57,3 > 55	C45/55
–	–	53/0,72-18,2= 55,4 > 55	C 50	**53**-8 = 45	**C45/55**	0,92·(73,6-4) = 64,0 > 60	C50/60	0,92·(73,6-4,4) = 63,7 > 60	C50/60
–	–	58/0,72 – 18,7 = 61,4 > 60	C 55	**58**-8 = 50	**C50/60**	0,92·(80,1-4) = 70,0 > 67	C55/67	0,92·(80,1-4,4) = 69,6 > 67	C55/67
*A B 350 és B 500 jelű nyomószilárdsági osztály az 1982 előtti Vasúti Hídszabályzatban szerepelt		Ha n = 5; t = 2,132 és a szórás ismeretlen. Lásd: MSZ 4720-2:1980		Lásd: Eurocode 2, ma érvényes változata: MSZ EN 1992-1-1:2010		Kezdeti gyártás		Folyamatos gyártás Ha n = 15; λ = 1,48; s_{min} = 3,0 N/mm²	
						Lásd: MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004			
		Elfogadási valószínűség: 50 %						Elfogadási valószínűség: 70 %	

5. táblázat: Egymásnak megfelelő átlagos nyomószilárdságú betonok szabványos és reménybeli nyomószilárdsági osztálya az Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2010) szabvány szerinti átlagos nyomószilárdságokhoz viszonyítva

A szabványos nyomószilárdsági osztályok összefoglalása a 4. táblázatból					Reménybeli magyar előírás			
1951-1982	1982-2002	2002 óta			$f_{cm,cyl} - t \cdot s = f_{ck,cyl}$	Osztály	$f_{cm,cyl} - t \cdot s = f_{ck,cyl}$	Osztály
B 50	–	–	–	–	2-4,6 < 8	–	2-4 < 8	–
B 70	–	–	–	–	4-4,6 < 8	–	4-4 = 1,3 < 8	–
B 100	–	–	–	–	8-4,6 = 3,4 < 8	–	8-4 = 4 < 8	–
B 140	C 4	–	–	–	12-4,6 = 7,4 < 8	–	12-4 = 8	C8/10
B 200	C 6	**C8/10**	C12/15	C12/15	16-4,6 = 11,4 > 8	C8/10	16-4 = 12	C12/15
B 200	C 10	**C12/15**	C16/20	C16/20	20-4,6 = 15,4 > 12	C12/15	20-4 = 16	C16/20
B 280	C 12	**C16/20**	C20/25	C20/25	24-4,6 = 19,4 > 16	C16/20	24-4 = 20	C20/25
B 350*	C 16	**C20/25**	C25/30	C25/30	28-4,6 = 23,4 > 20	C20/25	28-4 = 24 > 20	C20/25
B 400	C 25	**C25/30**	C30/37	C30/37	33-4,6 = 28,4 > 25	C25/30	33-4 = 29 > 25	C25/30
B 500*	C 30	**C30/37**	C35/45	C30/37	38-4,6 = 33,4 > 30	C30/37	38-4 = 34 > 30	C30/37
B 560	C 35	**C35/45**	C40/50	C40/50	43-4,6 = 38,4 > 35	C35/45	43-4 = 39 > 35	C35/45
*A B 350 és B 500 jelű nyomószilárdsági osztály az 1982 előtti Vasúti Hídszabályzatban szerepelt.	C 40	**C40/50**	C45/55	C45/55	48-4,6 = 43,4 > 40	C40/50	48-4 = 44 > 40	C40/50
	C 50	**C45/55**	C50/60	C50/60	53-4,6 = 48,4 > 45	C45/55	53-4 = 49 > 45	C45/55
	C 55	**C50/60**	C55/67	C55/67	58-4,6 = 53,4 > 50	C50/60	58-4 = 54 > 50	C50/60
	Ha n = 5 t = 2,132 s = ismeretlen MSZ 4720-2:1980	Eurocode 2, ma érvényes változata: MSZ EN 1992-1-1:2010	Kezdeti gyártás	Folyamatos gyártás	Ha n = 5 és t = 2,132 $s_{min,cyl}$ = 3,0/1,4 = 2,14 N/mm²		Ha n = 9 és t = 1,860 $s_{min,cyl}$ = 3,0/1,4 = 2,14 N/mm²	
			MSZ EN 206-1:2002 MSZ 4798-1:2004		Szimmetrikus eloszlás feltételezésével			
	Elfogadási valószínűség: 50 %			Elfogadási valószínűség: 70 %	Elfogadási valószínűség: 50 %			

6. táblázat: Egymásnak megfelelő átlagos nyomószilárdságú betonok reménybeli nyomószilárdsági osztálya az eloszlás ferdeségének figyelembevételével

Szabványos nyomószilárdsági osztály	Reménybeli nyomószilárdsági osztály							
	az 1977 előtt érvényes szabványok szerinti átlagos nyomószilárdságokhoz viszonyítva				az Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2010) szabvány szerinti átlagos nyomószilárdságokhoz viszonyítva			
1951-1982	$f_{cm,cyl} - k \cdot t \cdot s = f_{ck,cyl}$	Osztály	$f_{cm,cyl} - k \cdot t \cdot s = f_{ck,cyl}$	Osztály	$f_{cm,cyl} - k \cdot t \cdot s = f_{ck,cyl}$	Osztály	$f_{cm,cyl} - k \cdot t \cdot s = f_{ck,cyl}$	Osztály
B 50	3,8-3,6 = 0,2 < 8	–	3,8-3,1 = 0,7 < 8	–	2-3,3 < 8	–	2-2,8 < 8	–
B 70	5,3-3,8 = 1,5 < 8	–	5,3-3,3 = 2,0 < 8	–	4-3,6 = 0,4 < 8	–	4-3,1 = 0,9 < 8	–
B 100	7,6-4,0 = 3,6 < 8	–	7,6-3,5 = 4,1 < 8	–	8-4,1 = 3,9 < 8	–	8-3,5 = 4,5 < 8	–
B 140	10,6-4,3 = 6,3 < 8	–	10,6-3,7 = 6,9 < 8	–	12-4,4 = 7,6 < 8	–	12-3,8 = 8,2 > 8	C8/10
B 200	15,1-4,6 = 10,5 > 8	C8/10	15,1-4,0 = 11,1 > 8	C8/10	16-4,7 = 11,3 > 8	C8/10	16-4,1 = 11,9 > 8	C8/10
					20-5,0 = 15,0 > 12	C12/15	20-4,3 = 15,7 > 12	C12/15
B 280	21,2-5,0 = 16,2 > 16	C16/20	21,2-4,4 = 16,8 > 16	C16/20	24-5,2 = 18,8 > 16	C16/20	24-4,5 = 19,5 >16	C16/20
B 350*	26,5-5,3 = 21,2 > 20	C20/25	26,5-4,7 = 21,8 > 20	C20/25	28-5,4 = 22,6 > 20	C20/25	28-4,7 = 23,3 > 20	C20/25
B 400	30,3-5,5 = 24,8 > 20	C20/25	30,3-4,8 = 25,5 > 25	C25/30	33-5,7 = 27,3 > 25	C25/30	33-4,9 = 28,1 > 25	C25/30
B 500*	37,8-5,9 = 31,9 > 30	C30/37	37,8-5,1 = 32,7 > 30	C30/37	38-5,9 = 32,1 > 30	C30/37	38-5,1 = 32,9 > 30	C30/37
B 560	42,4-6,1 = 36,3 > 35	C35/45	42,4-5,3 = 37,1 > 35	C35/45	43-6,1 = 36,9 > 35	C35/45	43-5,3 = 37,7 > 35	C35/45
*B 350 és B 500 jelű nyomószilárdsági osztály az 1982 előtti Vasúti Hídszabályzatban szerepelt	44,9-6,2 = 38,7 > 35	C35/45	44,9-5,4 = 39,5 > 35	C35/45	43-6,1 = 36,9 > 35	C35/45	43-5,3 = 37,7 > 35	C35/45
	48,7-6,4 = 42,3 > 40	C40/50	48,7-5,5 = 43,2 > 40	C40/50	48-6,3 = 41,7 > 40	C40/50	48-5,5 = 42,5 > 40	C40/50
	52,6-6,5 = 46,1 > 45	C45/55	52,6-5,7 = 46,9 > 45	C45/55	53-6,5 = 46,5 > 45	C45/55	53-5,7 = 47,3 > 45	C45/55
	56,6-6,7 = 49,9 ~ 50	C50/60	56,6-5,8 = 50,8 > 50	C50/60	58-6,7 = 51,3 > 50	C50/60	58-5,8 = 52,2 > 50	C50/60
	Ha $n = 5$ és $t = 2{,}132$ $s_{min,cyl} = 3{,}0/1{,}4 = 2{,}14$ N/mm^2		Ha $n = 9$ és $t = 1{,}860$ $s_{min,cyl} = 3{,}0/1{,}4 = 2{,}14$ N/mm^2		Ha $n = 5$ és $t = 2{,}132$ $s_{min,cyl} = 3{,}0/1{,}4 = 2{,}14$ N/mm^2		Ha $n = 9$ és $t = 1{,}860$ $s_{min,cyl} = 3{,}0/1{,}4 = 2{,}14$ N/mm^2	
	Az eloszlás ferdeségének figyelembevételével							
	Elfogadási valószínűség: 50 %							

Összefoglalás

A nyomószilárdsági osztályok értelmezése és összehasonlítása céljából áttekintettük a beton nyomószilárdsága követelményének és vizsgálatának változását 1949-től napjainkig. A beton nyomószilárdság jellemzésének változásait grafikusan az **1. ábrán**, az egymásnak megfelelő átlagos beton nyomószilárdságokat az **1. táblázatban** mutattuk be. A különböző feltételekhez tartozó átlagos nyomószilárdságokat a **2. ábra** beli összefüggések segítségév el feleltettük meg egymással. A **2. ábra** szerinti összefüggéseket a kutatók összehasonlító kísérletek eredményei alapján írták fel, következésképpen azok fizikai tartalmat fejeznek ki, ezért ezek **az összefüggések kizárólag az R_m vagy f_{cm} jelű átlagos nyomószilárdságok kapcsolatának kifejezésére alkalmasak**, és alkalmatlanok a különböző időszakonkénti nyomószilárdságok jellemző értékének átszámítására.

Az **1. táblázat** szerinti egymásnak megfelelő átlagos nyomószilárdságokból és a szabványosítási időszakban érvényes alulmaradási tágasságokból kiszámítottuk az adott beton nyomószilárdsági osztályát úgy, hogy viszonyítási alapként egyszer az 1977 előtt érvényes szabványok szerinti átlagos nyomószilárdságokat (**2. és 3. táblázat**), másszor Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2010) szabvány szerinti átlagos nyomószilárdságokat (**4. és 5. táblázat**) tekintettük. Az egymásnak megfelelő átlagos nyomószilárdságú betonok szabványos és reménybeli nyomószilárdsági osztályai összevetésének eredményét a **7. táblázatban** foglaltuk össze.

A **7. táblázat** gyakorlati alkalmazásának alapvetően két területe látszik:

Egyrészt a **7. táblázat** segítségével a 2002 előtti szabványokban, előírásokban, irodalmi közlésekben és terv dokumentációkban szereplő nyomószilárdsági osztályok a mai előírások szerint értelmezhetők, feltéve, ha az összevetésnek az egymásnak megfelelő átlagos nyomószilárdságú betonok nyomószilárdsági osztálya képezi az alapját. Például az egykori B 400 nyomószilárdsági osztályú beton átlagos nyomószilárdsága az 1982-2002 közötti C 20 nyomószilárdsági osztályú betonok átlagos nyomószilárdságának, továbbá a mai Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2010) szerinti C20/25, illetve MSZ EN 206-1:2002 szerinti C25/30 nyomószilárdsági osztályú beton átlagos nyomószilárdságának felel meg. Vagy másképp, az Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2010) szerinti C20/25, illetve MSZ EN 206-1:2002 szerinti C25/30 nyomószilárdsági osztályú beton átlagos nyomószilárdsága az 1982-2002 közötti C 16 nyomószilárdsági osztályú betonok átlagos nyomószilárdságának, továbbá az egykori B 350 nyomószilárdsági osztályú beton átlagos nyomószilárdságának felel meg.

Másrészt a **7. táblázat** segítségével érzékelhető az Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2010) méretezési szabvány és az MSZ EN 206-1:2002 betonszabvány – az alulmaradási tágasságra vonatkozó –, eltérő felfogásának következménye. Ha az Eurocode 2 alapján készített tervdokumentáció szerint valamely szerkezet elkészítéséhez például C25/30 nyomószilárdsági osztályú betonra van szükség, akkor a betont az MSZ EN 206-1:2002 szerinti C30/37 minőségben kell elkészíteni ahhoz, hogy a tervezett és a gyártott beton átlagos nyomószilárdsága egymásnak megfeleljen. Ha a gyártó ezt nem veszi figyelembe, és a betont az MSZ EN 206-1:2002 szerinti C25/30 minőségben szállítja, akkor azt át fogja tudni adni, ha az átadás-átvételi eljárás során a beton átlagos nyomószilárdságából a nyomószilárdsági osztályt az MSZ EN 206-1:2002 betonszabvány szerint számítják ki, de nehézségei lesznek, ha a nyomószilárdsági osztály meghatározását a beruházó vagy a tervező az Eurocode 2 méretezési szabvány felfogásában követeli meg. Ennek következményei ellen szerződéskötéskor kell védekezni.

Betontechnológiai kultúránk több vonatkozásban a német gyakorlatot követve fejlődött, ezért befejezésül *R. Springenschmid* (2007) könyvrészletét idézzük, aki arról ír, hogy az idők folyamán a nyomószilárdsági osztályok jelölése és ezzel a nyomószilárdság követelménye is változott. Németországban 1972-ig a 20 cm méretű próbakockák kg/cm^2-ben kifejezett átlagos nyomószilárdságával jellemezték a betont, például: B 300; 1972 és 1978 között a 20 cm méretű próbakockák kg/cm^2-ben kifejezett 5 %-os alulmaradási hányada képezte a névleges nyomószilárdságot (németül: Nennfestigkeit) és ehhez a legalább 3 próbakockából meghatározott, 50 kp/cm^2 értékkel nagyobb átlagos nyomószilárdság (németül:

Serienfestigkeit) tartozott, például Bn 250; 1978-ban ez csak annyiban változott, hogy a mértékegység N/mm^2 lett, például B 25; 2005 óta a szabványos szabványos próbatestek Ø150·300 mm méretű hengerek, illetve 150 mm méretű kockák, így a nyomószilárdsági osztály jele például: C20/25.

A nyomószilárdsági osztályok jelölése Németországban tehát lényegében a következő példa szerint változott: B 300 ~ Bn 250 = B 25 ~ C20/25.

Magyarországon B 300 jelű beton nyomószilárdsági osztály nem volt, de ha elvégezzük a **2. táblázat** szerinti átszámítást, akkor az $R_{m,cube,200,H}$ = 300 kp/cm^2 értékből kiindulva ugyanerre az eredményre jutunk: $f_{ck,cube}$ = 0,92·(1,06·300/10–4,4) = 25,2 > 25 N/mm^2 → C20/25 az MSZ EN 206-1:2002 európai betonszabvány szerinti nyomószilárdsági osztály.

7. táblázat: Egymásnak megfelelő átlagos nyomószilárdságú betonok szabványos és reménybeli nyomószilárdsági osztályainak összevetése

Összevetés alapját képező szabvány	Szabványos nyomószilárdsági osztályok					Reménybeli magyar előírás			
						Szimmetrikus eloszlás feltételezésével		Az eloszlás ferdeségének figyelembevételével	
	1951-1982	1982-2002	**2002 óta**			Ha n = 5	Ha n = 9	Ha n = 5	Ha n = 9
1977 előtti és Eurocode 2	**B 50**	–	–	–	–	–	–	–	–
	B 70	–	–	–	–	–	–	–	–
	B 100	–	–	–	–	–	–	–	–
1977 előtti	**B 140**	C 4	–	–	–	–	–	–	–
Eurocode 2							C8/10	–	C8/10
1977 előtti	**B 200**	C 6	–	C12/15	C12/15	C8/10		C8/10	
Eurocode 2			**C8/10**				C12/15		
		C 10	**C12/15**	C16/20	C16/20	C12/15	C16/20	C12/15	C12/15
1977 előtti	**B 280**	C 12				C16/20		C16/20	C16/20
Eurocode 2			**C16/20**	C20/25	C20/25		C20/25		
1977 előtti	**B 350***	C 16		C25/30		C20/25		C20/25	C20/25
Eurocode 2			**C20/25**		C25/30				
1977 előtti	**B 400**	C 20				C25/30	C25/30		C25/30
Eurocode 2		C 25	**C25/30**	C30/37	C30/37			C25/30	
1977 előtti	**B 500***	C 30				C30/37	C30/37	C30/37	C30/37
Eurocode 2			**C30/37**	C35/45					
1977 előtti	**B 560**	C 35		C40/50	C40/50	C35/45	C35/45	C35/45	C35/45
Eurocode 2			**C35/45**						
1977 előtti	–	C 40				C40/50	C40/50		
Eurocode 2			**C40/50**	C45/55	C45/55			C40/50	C40/50
1977 előtti	–	C 45							
Eurocode 2									
1977 előtti	–	C 50		C50/60	C50/60	C45/55	C45/55	C45/55	C45/55
Eurocode 2			**C45/55**						
1977 előtti	–	C 55		C55/67	C55/67	C50/60	C50/60	C5060	C50/60
Eurocode 2			**C50/60**						
	*A B 350 és B 500 jelű nyomószilárdsági osztály az 1982 előtti Vasúti Hídszabályzatban szerepelt.	*Ha n = 5* t = 2,132 s = ismeretlen MSZ 4720-2:1980	**Eurocode 2**, ma érvényes változata: MSZ EN 1992-1-1:2010	Kezdeti gyártás	Folyamatos gyártás	t = 2,132 $s_{min,cyl}$ = 3,0/1,4 = 2,14 N/mm^2	t = 1,860 $s_{min,cyl}$ = 3,0/1,4 = 2,14 N/mm^2	t = 2,132 $s_{min,cyl}$ = 3,0/1,4 = 2,14 N/mm^2	t = 1,860 $s_{min,cyl}$ = 3,0/1,4 = 2,14 N/mm^2
				MSZ EN 206-1:2002	MSZ 4798-1:2004				
		Elfogadási valószín.: 50 %			Elfogadási valószín.: 70 %	Elfogadási valószínűség: 50 %			

Felhasznált irodalom

„Építésügyi Szabályzat Budapest székesfőváros területére". Az 1870. évi X. törvénycikk alapján kiadta a Fővárosi Közmunkák Tanácsa. Második, kiegészített kiadás. Hellas Irodalmi és Nyomdai Rt., Budapest, 1926. Megjegyzés: A hivatkozott, „a Duna-folyamnak a főváros mellett szabályozásáról s a forgalom és közlekedés érdekében Buda-Pesten létesítendő egyéb közmunkák költségeinek fedezéséről és e közmunkák végrehajtási közegeiről" szóló 1870. évi X. törvénycikk 10. §-a rendelkezett a Fővárosi Közmunkák Tanácsa felállításáról, és a 11. § - 27. § a tanács feladatairól.

Halász István: „A különböző méretű és alakú próbatesteken kapott eredmény átszámítása nyomószilárdság esetén", fejezet „A beton minőségellenőrzése" című könyvben, pp. 331-339. Szerkesztette: Szalai Kálmán. Magyar Szabványügyi Hivatal, Szabványosítási szakkönyvtár, 26. szám. Szabványkiadó. Budapest, 1982.

Kausay Tibor: „Nyomószilárdsági osztály", fejezet a „Cement-beton Kisokos" című könyvben., pp. 93-99. Főszerkesztő: Pluzsik Tamás. Holcim Hungária Zrt., Budapest, 2008.

Kilián József: „Építőanyagok I.", Kézirat. 3. változatlan utánnyomás. Tankönyvkiadó. Budapest, 1975.

KPM. Sz. HI/I – 56 R„Közúti Hídszabályzat". Közlekedési és Postaügyi Minisztérium. Szakmai szabvány. Budapest, 1956.

Magyar és európai szabványok: A felhasznált szabványok jelzetei a cikkben találhatók.

Pécsi Eszter (Fischer Józsefné): „Biztonsági tényező kérdése", fejezet „A vasbeton" című könyvben, pp. 209-226. Szerkesztette dr. Palotás László, Magyar Építőmesterek Egyesülete, Budapest, 1947.

Roknich György: „Hídbeton", fejezet „A beton minőségellenőrzése" című könyvben, pp. 442-445. Szerkesztette: Szalai Kálmán. Magyar Szabványügyi Hivatal, Szabványosítási szakkönyvtár, 26. szám. Szabványkiadó. Budapest, 1982.

Springenschmid, R.:„Betontechnologie für die Praxis", Bauwerk Verlag GmbH, Berlin, 2007.

Szalai Kálmán: „A minőségellenőrzés elméleti alapjai" és „A betontulajdonságok jellemzőinek számítási értékei", fejezetek „A beton minőségellenőrzése" című könyvben, pp. 20-43. és 369-382. Szerkesztette: Szalai Kálmán. Magyar Szabványügyi Hivatal, Szabványosítási szakkönyvtár, 26. szám. Szabványkiadó. Budapest, 1982.

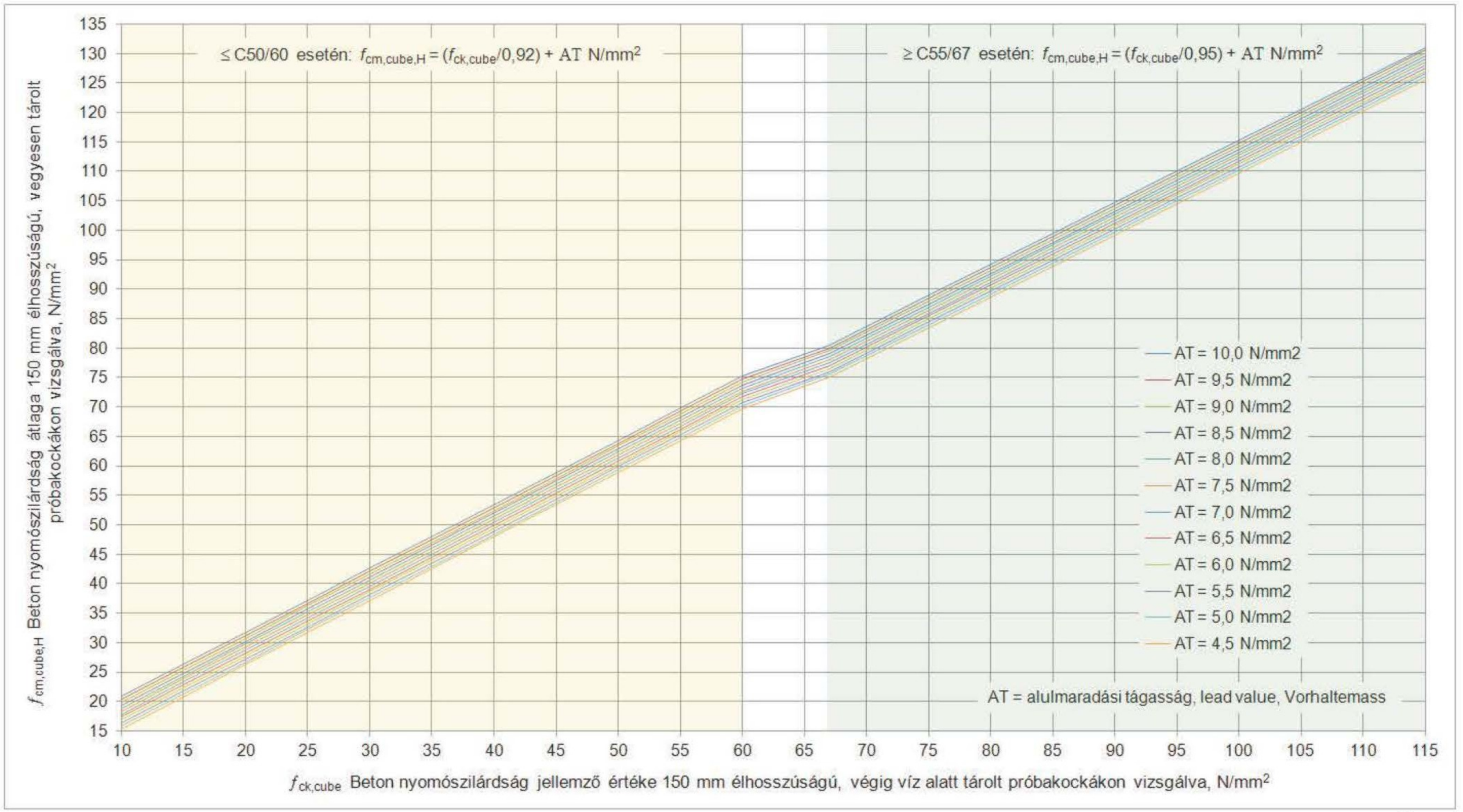
Ujhelyi János: „A beton statisztikai jellemzőire vonatkozó adatok", fejezet „A beton minőségellenőrzése" című könyvben, pp. 113-161. Szerkesztette: Szalai Kálmán. Magyar Szabványügyi Hivatal, Szabványosítási szakkönyvtár, 26. szám. Szabványkiadó. Budapest, 1982.

Lásd még: http://www.betonopus.hu/notesz/eloadas-vetitessel/2011-epko.pdf

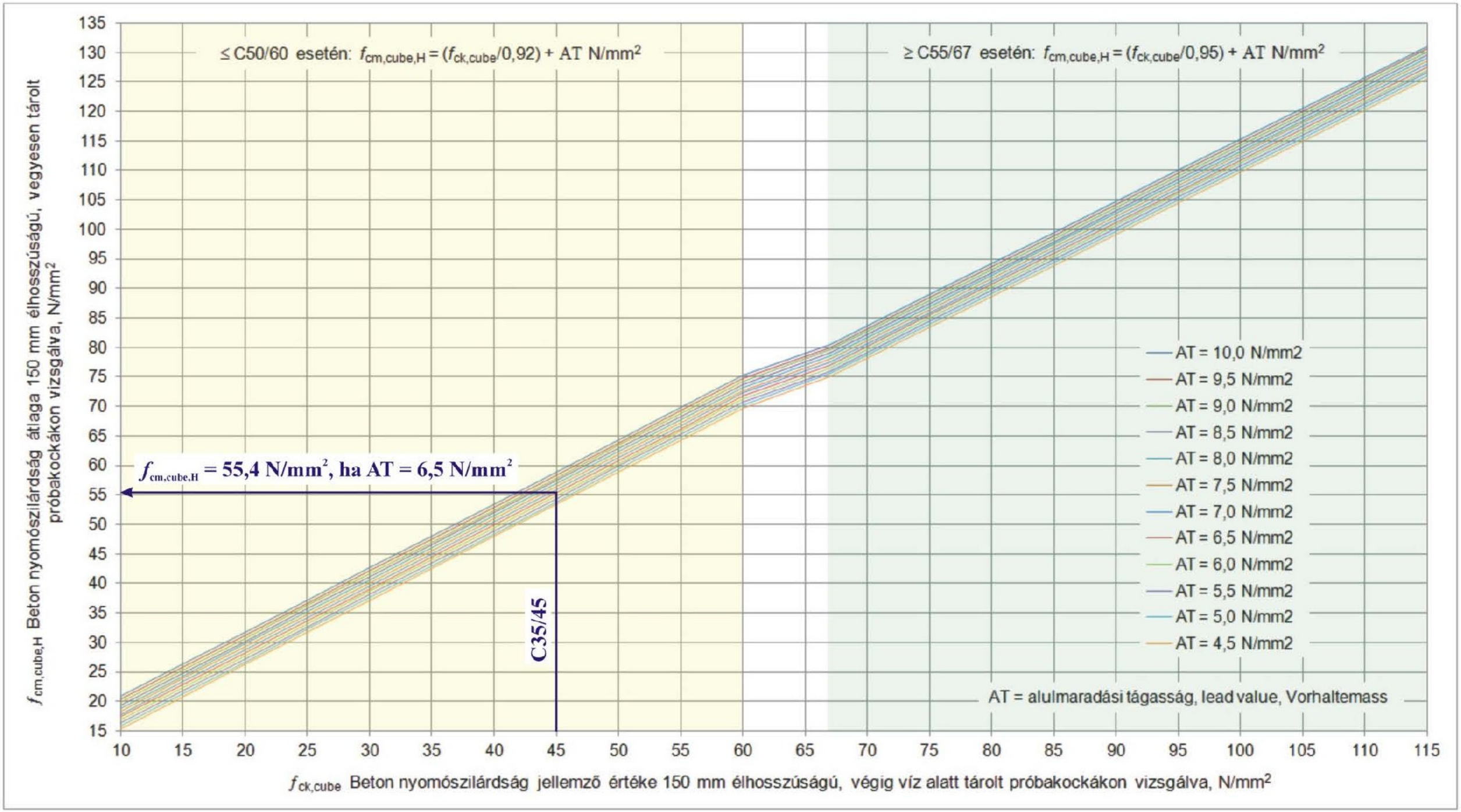
Kausay Tibor: A beton nyomószilárdsági osztályának értelmezése és változása 1949-től napjainkig. ÉPKO 2011. Konferencia kiadvány, Csíksomlyó, 2011. pp. 224-231.

Kausay Tibor: Nyomószilárdsági osztályok értelmezése. 1-3. rész. Fogalom-tár. Beton szakmai havilap, XIX. évfolyam, 2011. második félév

**Összefüggés a beton jellemző értéke és a víz-cement tényező között,
ha a nyomószilárdságot 150 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakockákon határozzák meg**



Kausay



Az alulmaradási tágasság (AT) vagy az alulmaradási tényező (λ_{Taerw}-tényező vagy $t_{Stucent}$-tényező) és a szórás szorzataként adódó számérték, vagy az előírt konstans szám, más szóval az alulmaradási tágasság a nyomószilárdság átlag értékének és jellemző értékének különbsége.

Kausay

Forrás: Ujhelyi (2005)

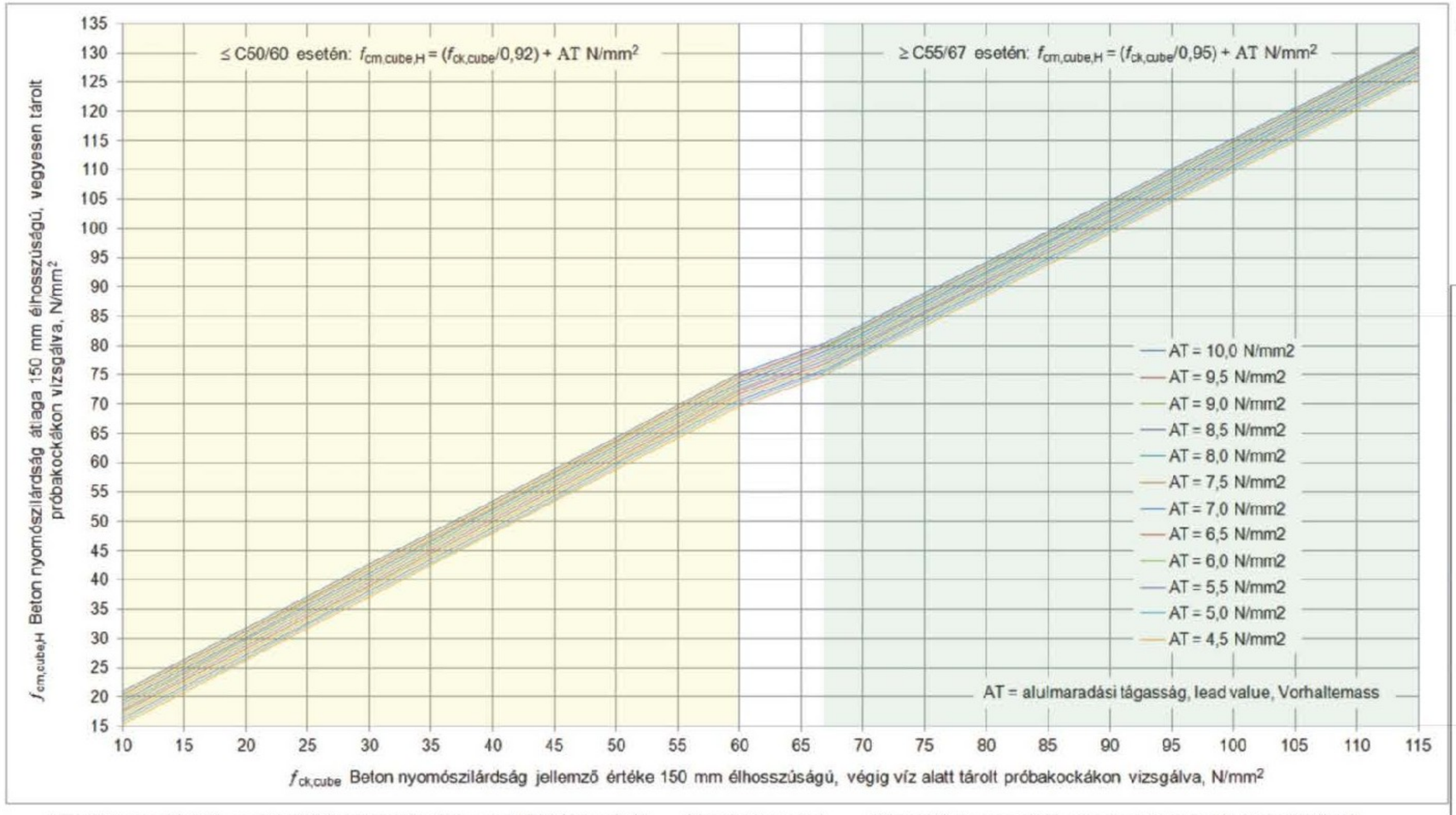
$f_{cm,cube,H}$ 28 napos, vegyesen tárolt, 150 mm élhosszúságú próbakockák átlagos nyomószilárdsága, N/mm²

85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10

CEM 52,5 tartomány
CEM 42,5 tartomány
CEM 32,5 tartomány

0,35 0,40 0,45 0,50 0,55 0,60 0,65 0,70 0,75 0,80 0,85

x Víz-cement tényező



Dr. Ujhelyi János $f_{cm,cube,H}$ - *x* összefüggéseinek függvényalakja a következő:

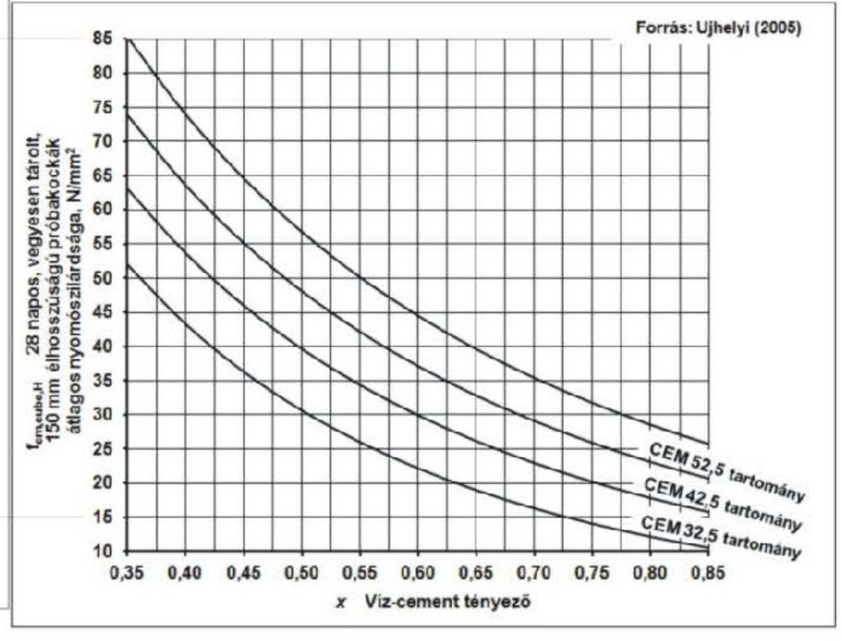
$$f_{cm,cube,H} = 469 \times e^{(-3,2 \times x^{0,6})}$$

$$f_{cm,cube,H} = 406 \times e^{(-3,3 \times x^{0,63})}$$

$$f_{cm,cube,H} = 374 \times e^{(-3,52 \times x^{0,65})}$$

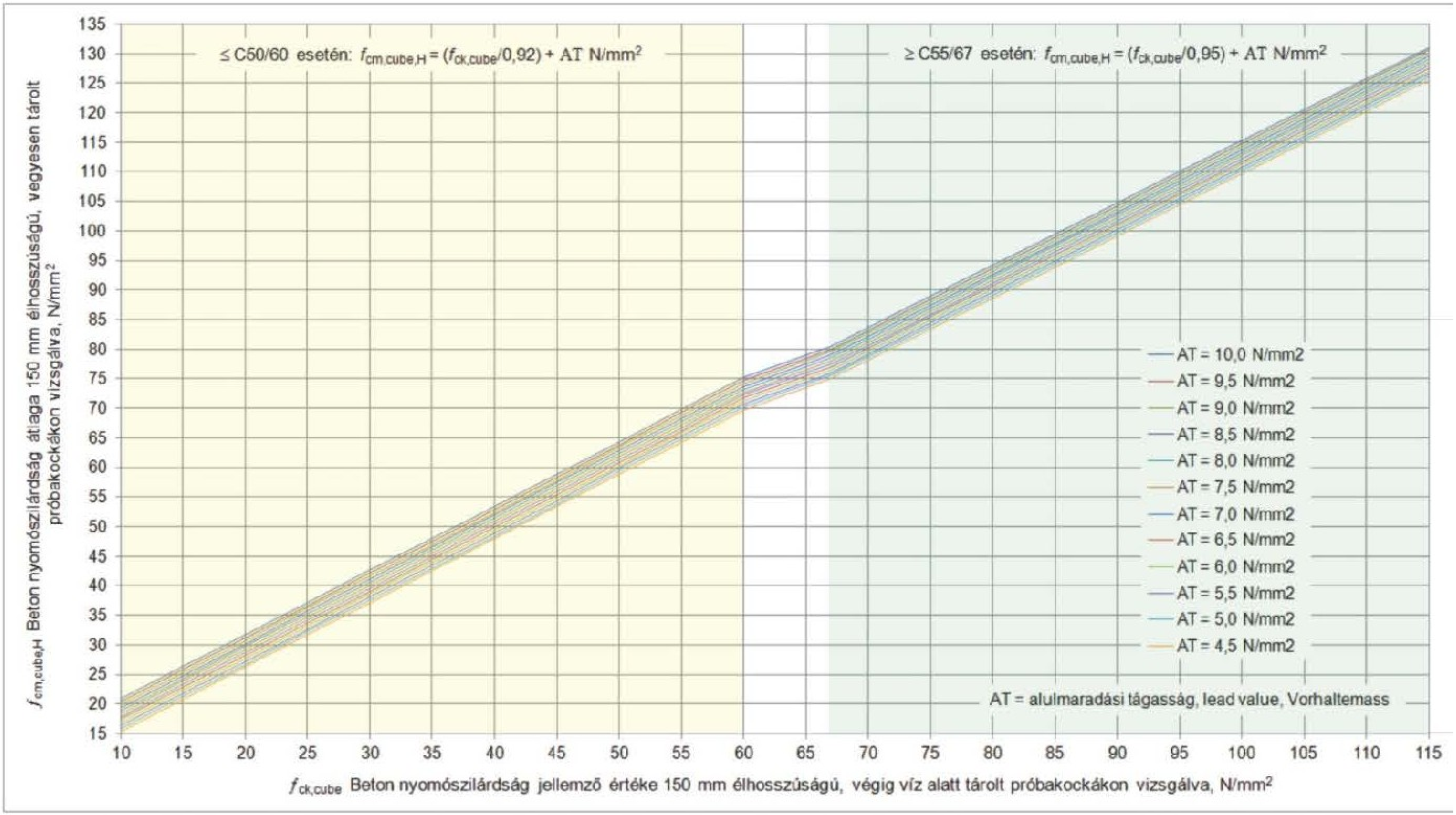
$$f_{cm,cube,H} = 356 \times e^{(-3,93 \times x^{0,68})}$$

Az összefüggések forrása:
Ujhelyi János: Beton-ismeretek.
Egyetemi tankönyv.
Müegyetemi Kiadó.
Budapest, 2005. / 43. ábra



Az alulmaradási tágasság (AT) vagy az alulmaradási tényező (λ_{Taerw}-tényező vagy $t_{Student}$-tényező) és a szórás szorzataként adódó számérték, vagy az előírt konstans szám, más szóval az alulmaradási tágasság a nyomószilárdság átlag értékének és jellemző értékének különbsége.

Kausay



Az alulmaradási tágasság (AT) vagy az alulmaradási tényező (λ_{-Taerw}-tényező vagy $t_{Student}$-tényező) és a szórás szorzataként adódó számérték, vagy az előírt konstans szám, más szóval az alulmaradási tágasság a nyomószilárdság átlag értékének és jellemző értékének különbsége.

Dr. Ujhelyi János $f_{cm,cube,H}$ - *x* összefüggéseinek függvényalakja a következő:

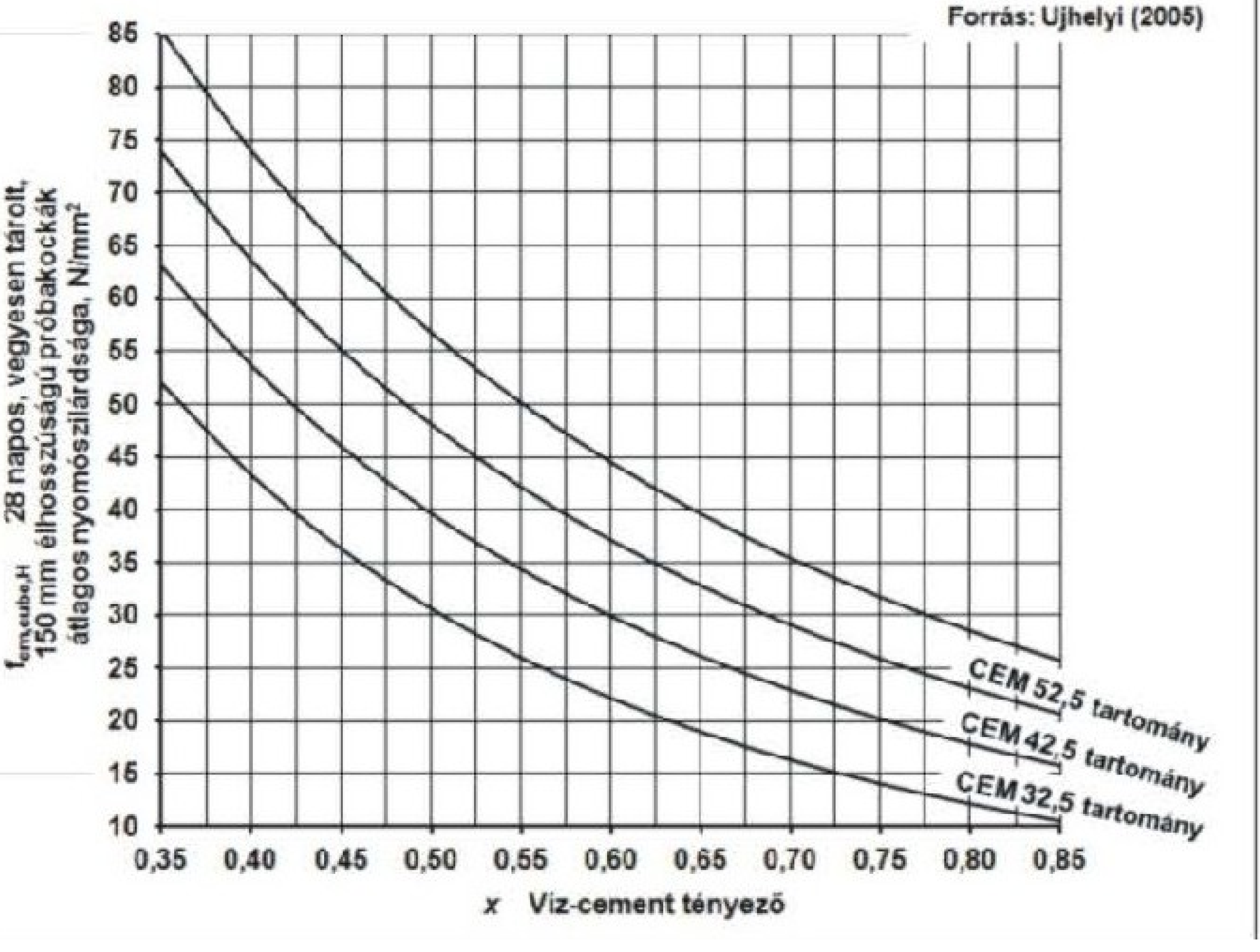
$$f_{cm,cube,H} = 469 \times e^{(-3{,}2 \times x^{0{,}6})}$$

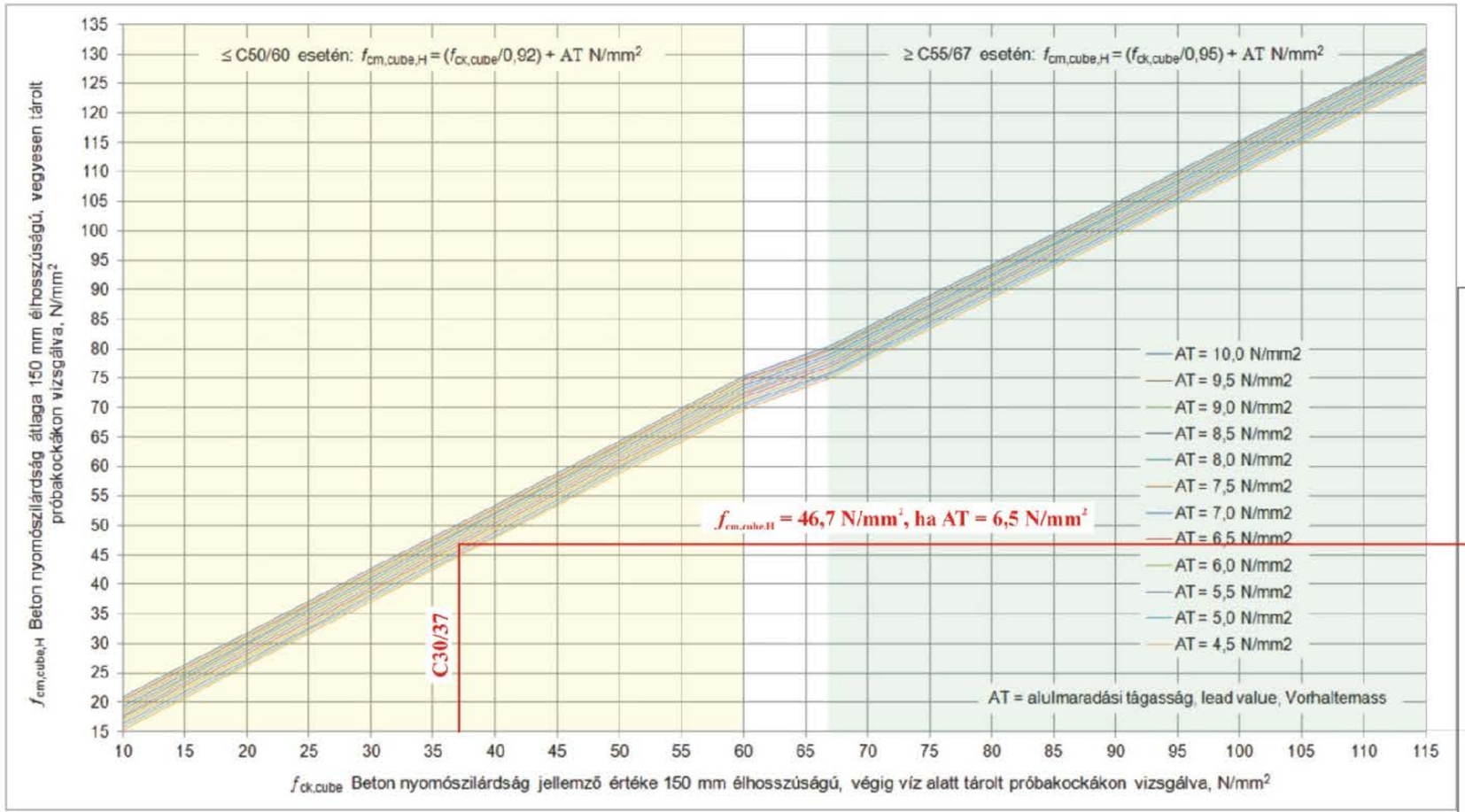
$$f_{cm,cube,H} = 406 \times e^{(-3{,}3 \times x^{0{,}63})}$$

$$f_{cm,cube,H} = 374 \times e^{(-3{,}52 \times x^{0{,}65})}$$

$$f_{cm,cube,H} = 356 \times e^{(-3{,}93 \times x^{0{,}68})}$$

Az összefüggések forrása:
Ujhelyi János: Beton-ismeretek.
Egyetemi tankönyv.
Műegyetemi Kiadó.
Budapest, 2005. / 43. ábra





Dr. Ujhelyi János $f_{cm,cube,H}$ - *x* összefüggéseinek függvényalakja a következő:

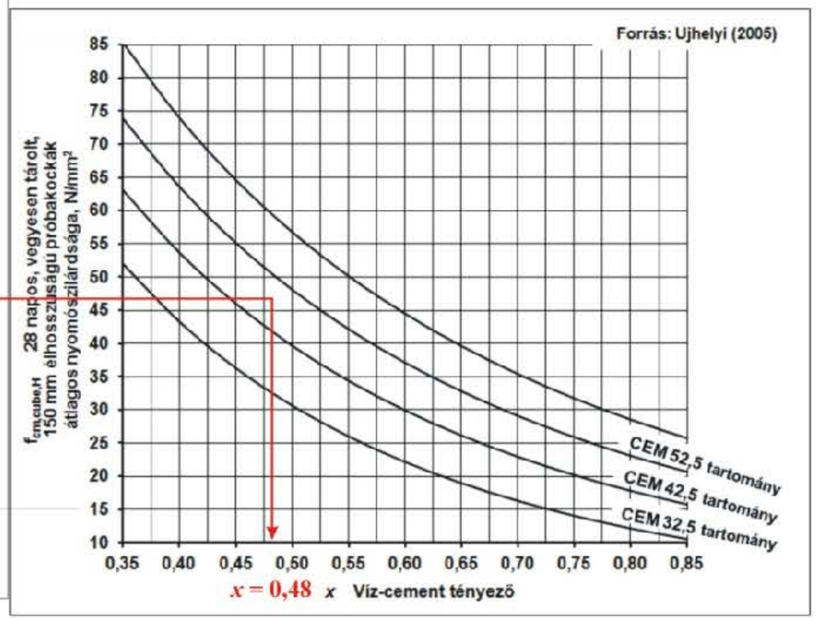
$$f_{cm,cube,H} = 469 \times e^{(-3,2 \times x^{0,6})}$$

$$f_{cm,cube,H} = 406 \times e^{(-3,3 \times x^{0,63})}$$

$$f_{cm,cube,H} = 374 \times e^{(-3,52 \times x^{0,65})}$$

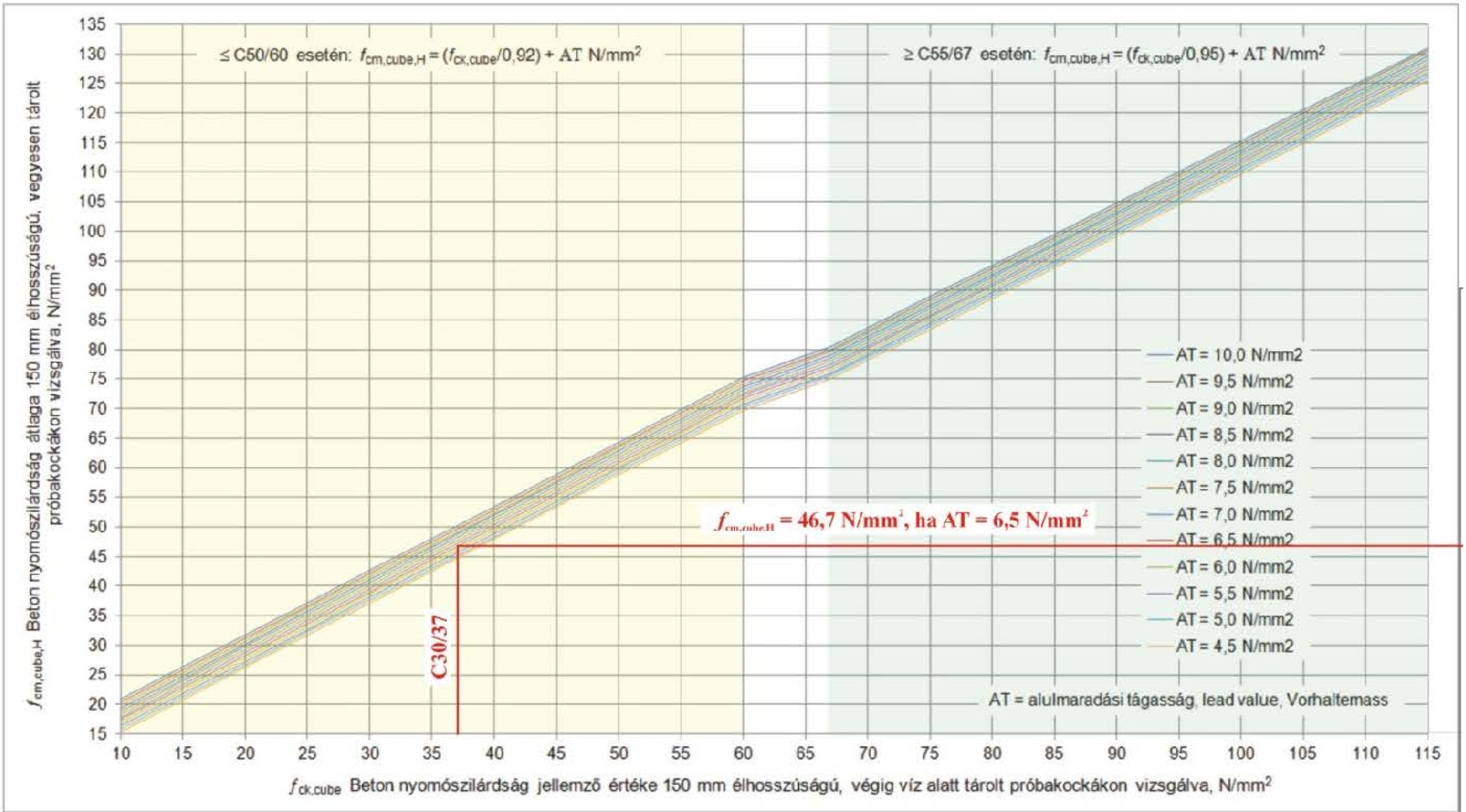
$$f_{cm,cube,H} = 356 \times e^{(-3,93 \times x^{0,60})}$$

Az összefüggések forrása:
Ujhelyi János: Beton-ismeretek.
Egyetemi tankönyv.
Müegyetemi Kiadó.
Budapest, 2005. / 43. ábra



Az alulmaradási tágasság (AT) vagy az alulmaradási tényező (λ_{Taerw}-tényező vagy $t_{Student}$-tényező) és a szórás szorzataként adódó számérték, vagy az előírt konstans szám, más szóval az alulmaradási tágasság a nyomószilárdság átlag értékének és jellemző értékének különbsége.

Kausay



Az alulmaradási tágasság (AT) vagy az alulmaradási tényező (λ_{Taerw}-tényező vagy $t_{Student}$-tényező) és a szórás szorzataként adódó számérték, vagy az előírt konstans szám, más szóval az alulmaradási tágasság a nyomószilárdság átlag értékének és jellemző értékének különbsége.

Dr. Ujhelyi János $f_{cm,cube,H}$ - *x* összefüggéseinek függvényalakja a következő:

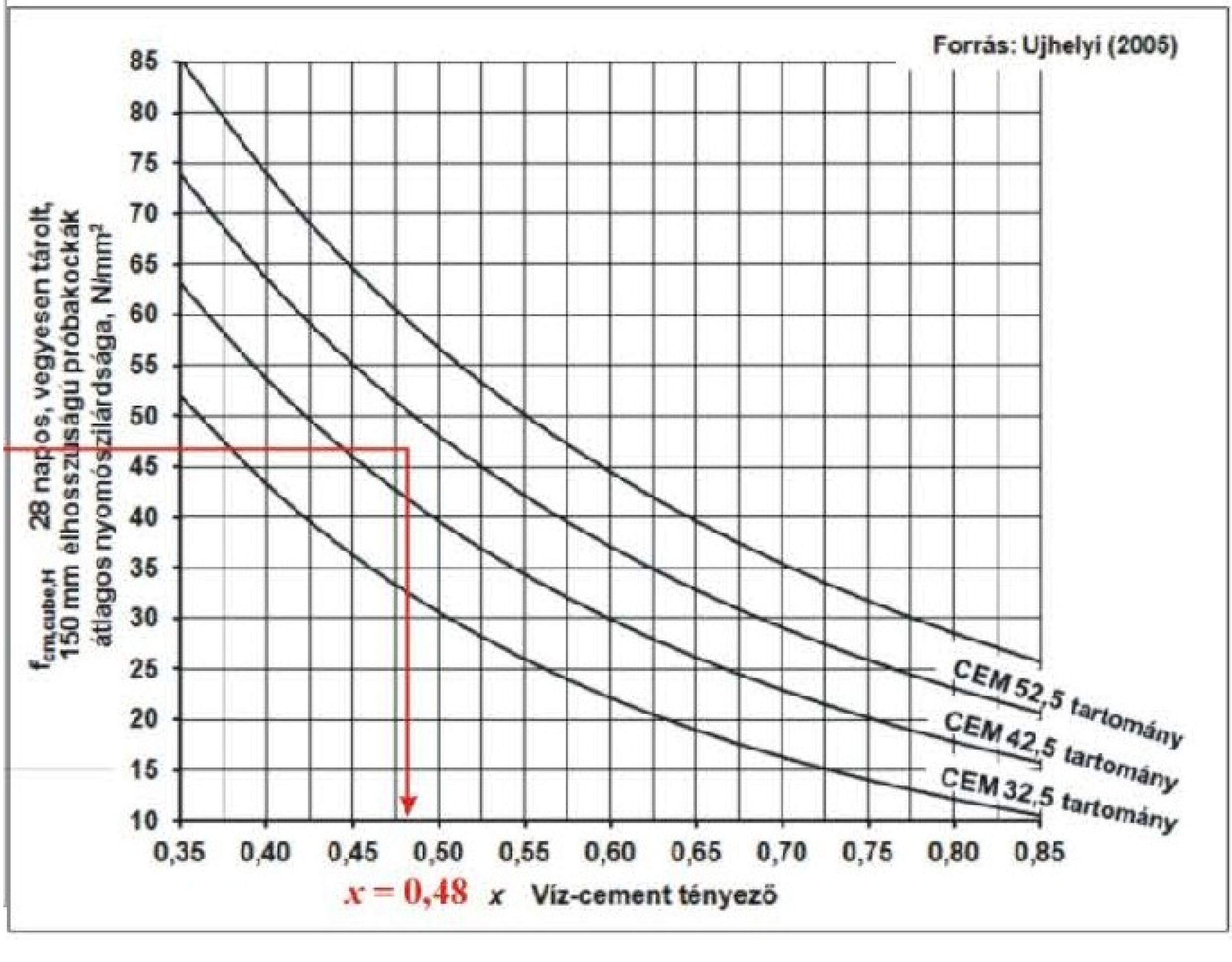
$$f_{cm,cube,H} = 469 \times e^{(-3{,}2 \times x^{0{,}6})}$$

$$f_{cm,cube,H} = 406 \times e^{(-3{,}3 \times x^{0{,}63})}$$

$$f_{cm,cube,H} = 374 \times e^{(-3{,}52 \times x^{0{,}65})}$$

$$f_{cm,cube,H} = 356 \times e^{(-3{,}93 \times x^{0{,}68})}$$

Az összefüggések forrása:
Ujhelyi János: Beton-ismeretek.
Egyetemi tankönyv.
Müegyetemi Kiadó.
Budapest, 2005. / 43. ábra



A betonnyomószilárdság szórása alsó korlátjának és alulmaradási tágassága felső korlátjának hatása a nyomószilárdság matematikai statisztikai értékelési rendjének működésére

GONDOLATOK ÉS ÁBRÁK AZ MSZ EN 206:2014 ÉS MSZ 4798:2016 BETONSZABVÁNY ÉRTELMEZÉSÉHEZ

Budapest, 2014. december **Dr. Kausay Tibor**

A beton nyomószilárdságának matematikai statisztikai értékelési rendje adott *n* mintaelemszám (például próbakockák száma) mellett akkor működőképes, ha a szórás (*s*) – alulmaradási tágasság (*Taerwe*-eloszlás esetén: $\lambda_n \times s$, illetve *Student*-eloszlás esetén: $t_n \times s$) koordinátarendszerében az $y_{Taerwe} = \lambda_n \times s$, illetve $y_{Student} = t_n \times s$ egyenes metszi a P[s_{min}, 0], P[s_{min}, $(\lambda_n \times s)_{max}$, illetve $(t_n \times s)_{max}$], P[$s_{max,test}$, 0], P[$s_{max,test}$, $(\lambda_n \times s)_{max}$, illetve $(t_n \times s)_{max}$] pontokkal határolt térnegyedet,

ahol:

s_{min} **a nyomószilárdság jellemző (karekterisztikus) értékének meghatározása során számításba vehető legkisebb szórás, N/mm²;**

$s_{max,test}$ **a felvett koordinátarendszerben megjeleníthető tapasztalati szórások legnagyobbika, azaz az abszcissza-tengely végpontja, ábráinkon $s_{max,test} = 7$ N/mm²;**

λ_n ***Taerwe*-féle (alulmaradási) tényező;**

t_n ***Student*-féle (alulmaradási) tényező;**

$(\lambda_n \times s)_{max}$, **illetve** $(t_n \times s)_{max}$ **a nyomószilárdság jellemző (karekterisztikus) értékének** ($f_{ck} \leq f_{ck,test}$) **meghatározása során**

- **alkalmazandó konstans alulmaradási tágasság (ábráinkon az abszcissza-tengellyel párhuzamos vonal), N/mm², például:** $f_{ck} \leq f_{ck,test} = f_{cm,test} - 6$
- **vagy a számításba vehető legnagyobb alulmaradási tágasság (ábráinkon az abszcissza-tengellyel párhuzamos vonal alatti terület), N/mm², például:** $f_{ck} \leq f_{ck,test} = f_{cm,test} - \lambda_n \times s$ **és** $(\lambda_n \times s)_{max} = 6$, **amely utóbbi az** $f_{cm,test} - \lambda_n \times s$ **összefüggés érvényét korlátozza (ábráinkon az abszcissza-tengellyel párhuzamos vonal feletti területen);**

$f_{cm,test}$ **a nyomószilárdság tapasztalati (mért) átlagértéke, N/mm²**

Alulmaradási tényezők táblázata

Mintaszám n	Szabadságfok a *Student*-féle eloszlás esetén n - 1	*Student*-tényező t_n	*Taerwe*-tényező λ_n
	(*Stange* et al., 1966)		(*Taerwe*, 1986)
2	1	6,314	
3	2	2,920	2,67
4	3	2,353	2,20
5	4	2,132	1,99
6	5	2,015	1,87
7	6	1,943	1,77
8	7	1,895	1,72
9	8	1,860	1,67
10	9	1,833	1,62
11	10	1,812	1,58
12	11	1,796	1,55
13	12	1,782	1,52
14	13	1,771	1,50
15	14	1,761	*1,48*
20	19	1,729	
30	29	1,699	
	∞	*1,645*	

Megjegyzés az alulmaradási tényezők táblázatához

Az előző diakocka a táblázatában szereplő *Student*-tényező értékek *Stange – Henning* (1966) matematikai statisztikai könyvéből származnak. Ugyanezek az értékek találhatók *Mohr* (2008) mérnököknek és természettudósoknak szánt matematikai statisztikai könyvében.

Ezektől *a Student*-tényező értékektől bizonyos mértékig eltérnek a visszavont MSZ 4720-2:1980 szabványban szereplő *Student*-tényező értékek, mert azokat annak idején *Palotás* professzor az *Owen* könyvében szereplő, *Wald-* és *Wolfowitz*-féle adatokból határozta meg. (*Owen* 1962; *Palotás*: Mérnöki szerkezetek anyagtana I. kötet III. fejezet 9.93.4. szakasz, p. 645 (1979); *Szalai* 1982: 2.8.5. szakasz).

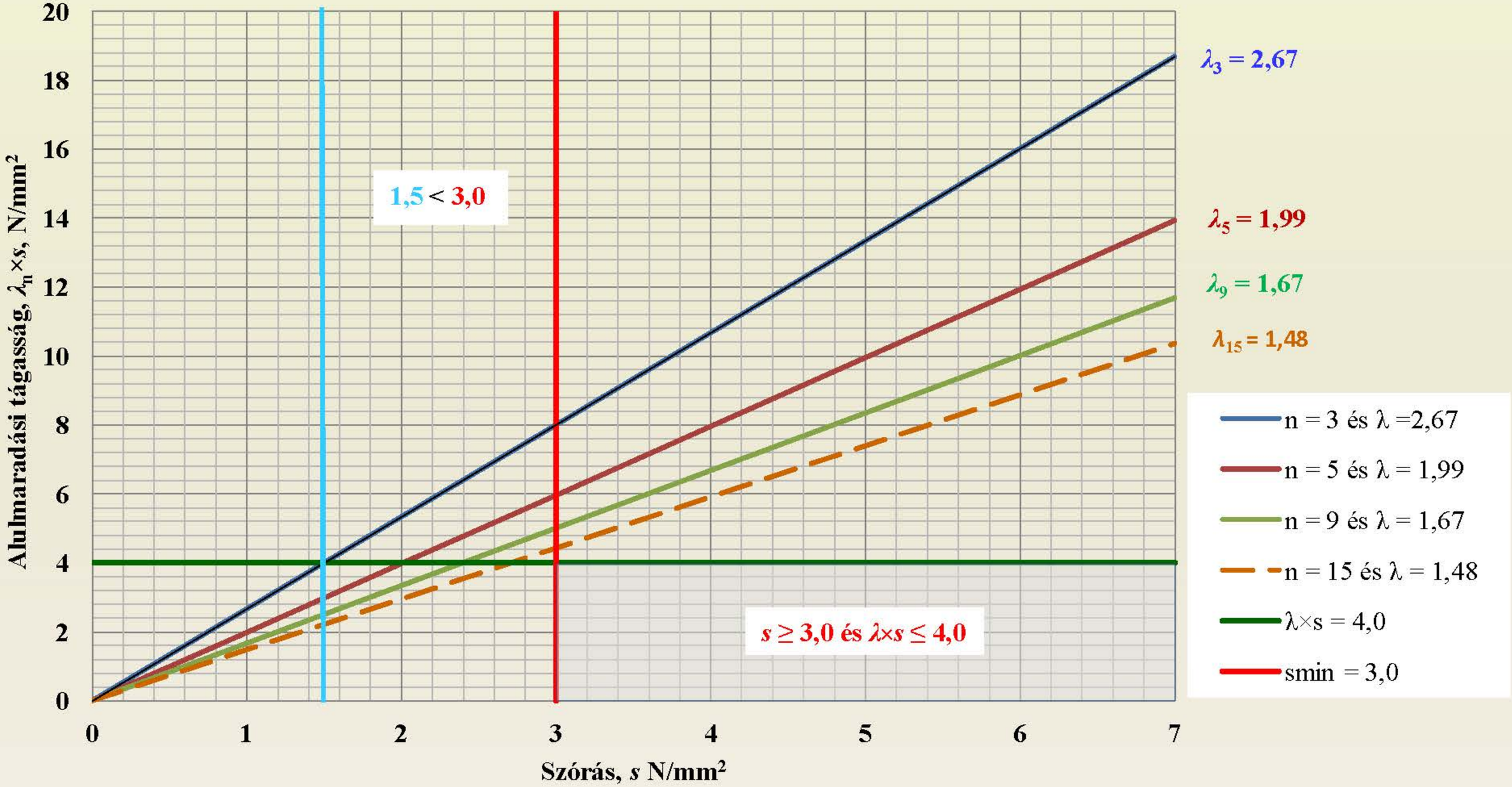
Az előző diakockán közölt táblázatban szereplő *Student*-tényezők valamelyest eltérnek az MSZ EN 1990:2011 Eurocode szabvány D1. táblázatában található *Student*-tényezőktől is:

Próbatestek száma, *n*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**8**	**10**	**20**	**30**	**∞**
„*V* ismert”	**2,31**	**2,01**	**1,89**	**1,83**	**1,80**	**1,77**	**1,74**	**1,72**	**1,68**	**1,67**	**1,64**
„*V* ismeretlen”			**3,37**	**2,63**	**2,33**	**2,18**	**2,00**	**1,92**	**1,76**	**1,73**	**1,64**

Az MSZ EN 1990:2011 Eurocode szabvány D1. táblázatáról annyit tudunk, hogy

- **a „*V* ismert” sor adatait $(n/(n+1))^{0,5}$ tényezővel megszorozva, minden szorzat eredménye – a kerekítési eltérésektől eltekintve – 1,645, amely a *Gauss*-eloszlás 5 %-os alulmaradási hányadhoz tartozó alulmaradási tényezője;**
- **a „*V* ismeretlen” sor adatait $(n/(n+1))^{0,5}$ tényezővel megszorozva, minden szorzat eredménye – a kerekítési eltérésektől eltekintve – az *n* próbatest számhoz tartozó *Student*-tényezőt adja;**
- **ha $n \rightarrow \infty$, akkor $(n/(n+1))^{0,5} \rightarrow 1,0$.**

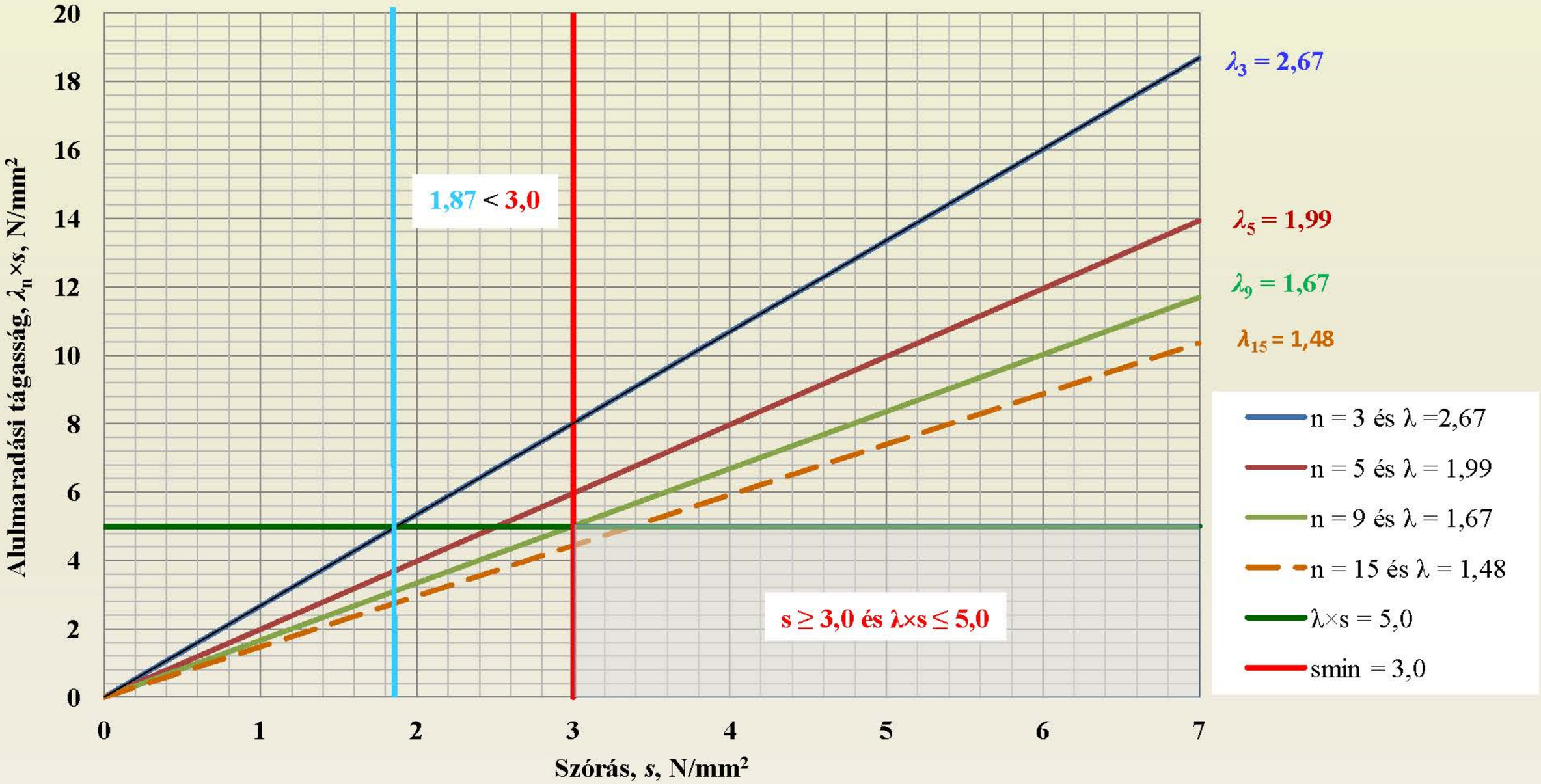
Alulmaradási tágasság *Taerwe*-eloszlás esetén, ha $\lambda_n \times s \leq 4{,}0$ és $s_{min} = 3{,}0$



Az $s_{min} = 3{,}0$ feltétel érvényesüléséhez $\lambda_n \times s \leq 4{,}0$ előírása esetén $n = 15$ próbatest sem lenne elegendő, mert $\lambda_{15} \times s_{min} = 1{,}48 \times 3{,}0 = 4{,}44 > 4{,}0$

$n = 3$ próbatest esetén pedig a *Taerwe*-tényezős összefüggés csak $s_{min} = 1{,}5$ feltétel mellett érvényesülne, mert $\lambda_3 \times s_{min} = 2{,}67 \times 1{,}498 = 4{,}0$

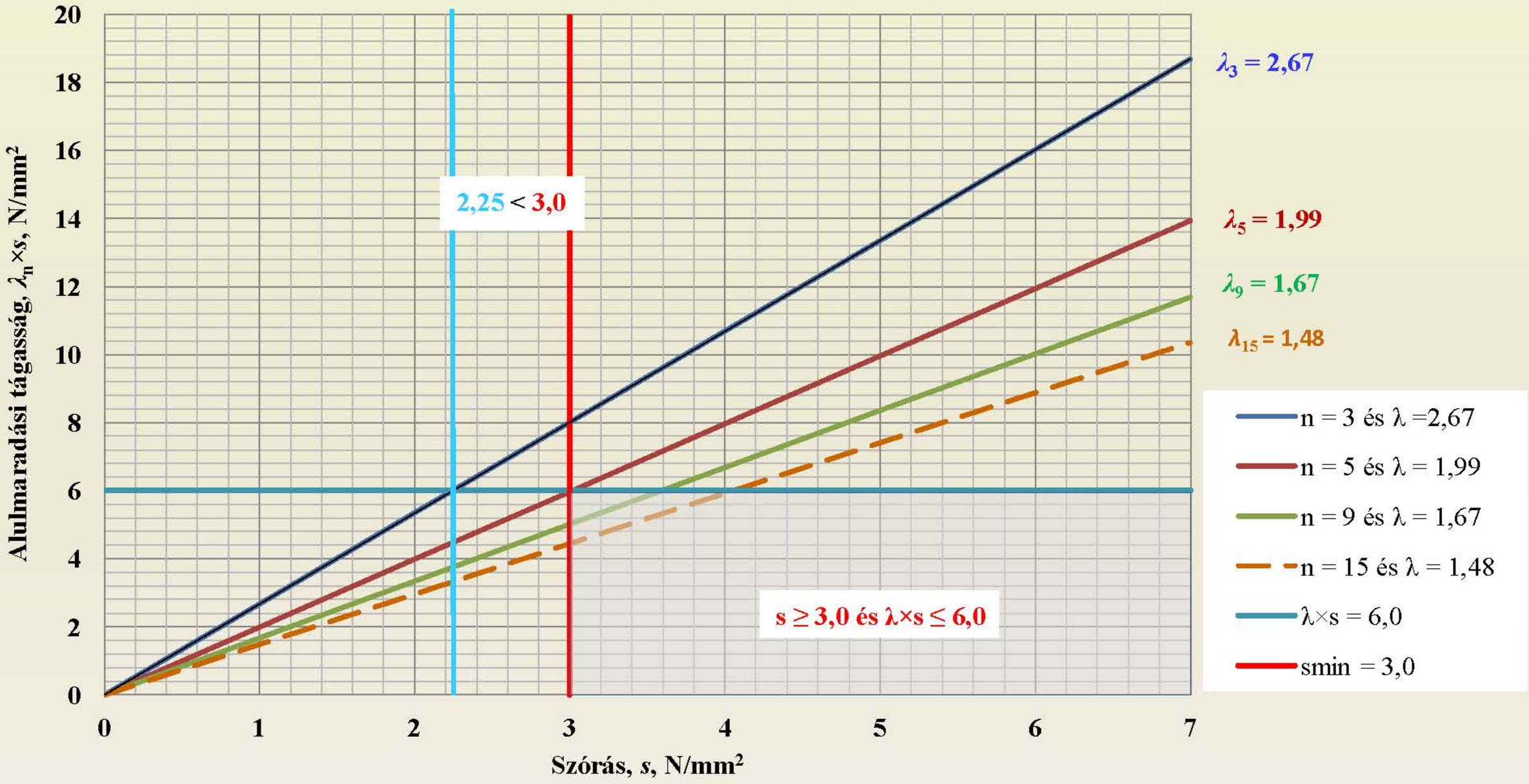
Alulmaradási tágasság *Taerwe*-eloszlás esetén, ha $\lambda_n \times s \leq 5{,}0$ és $s_{min} = 3{,}0$



Az $s_{min} = 3{,}0$ feltétel érvényesüléséhez $\lambda_n \times s \leq 5{,}0$ előírása esetén legalább $n = 9$ próbatest lenne szükséges, mert $\lambda_9 \times s_{min} = 1{,}67 \times 3{,}0 = 5{,}01 > 5{,}0$

$n = 3$ próbatest esetén pedig a *Taerwe*-tényezős összefüggés csak $s_{min} = 1{,}87$ feltétel mellett érvényesülne, mert $\lambda_3 \times s_{min} = 2{,}67 \times 1{,}87 = 4{,}99$

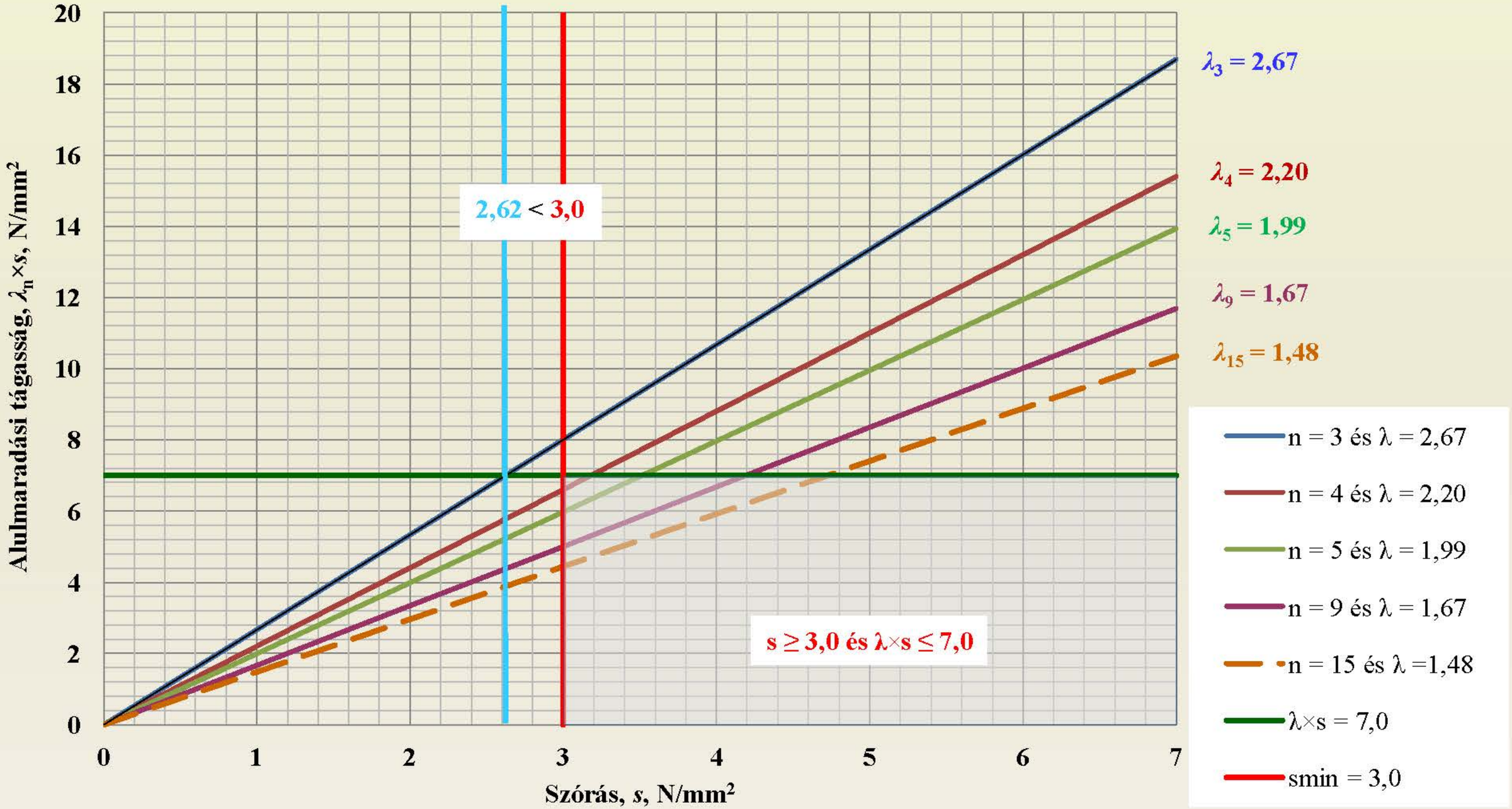
Alulmaradási tágasság *Taerwe*-eloszlás esetén, ha $\lambda_n \times s \leq 6{,}0$ és $s_{min} = 3{,}0$



Az $s_{min} = 3{,}0$ feltétel érvényesüléséhez $\lambda_n \times s \leq 6{,}0$ előírása esetén legalább $n = 5$ próbatest lenne szükséges, mert $\lambda_5 \times s_{min} = 1{,}99 \times 3{,}0 = 5{,}97 \sim 6{,}0$

$n = 3$ próbatest esetén pedig a *Taerwe*-tényezős összefüggés csak $s_{min} = 2{,}25$ feltétel mellett érvényesülne, mert $\lambda_3 \times s_{min} = 2{,}67 \times 2{,}25 = 6{,}01$

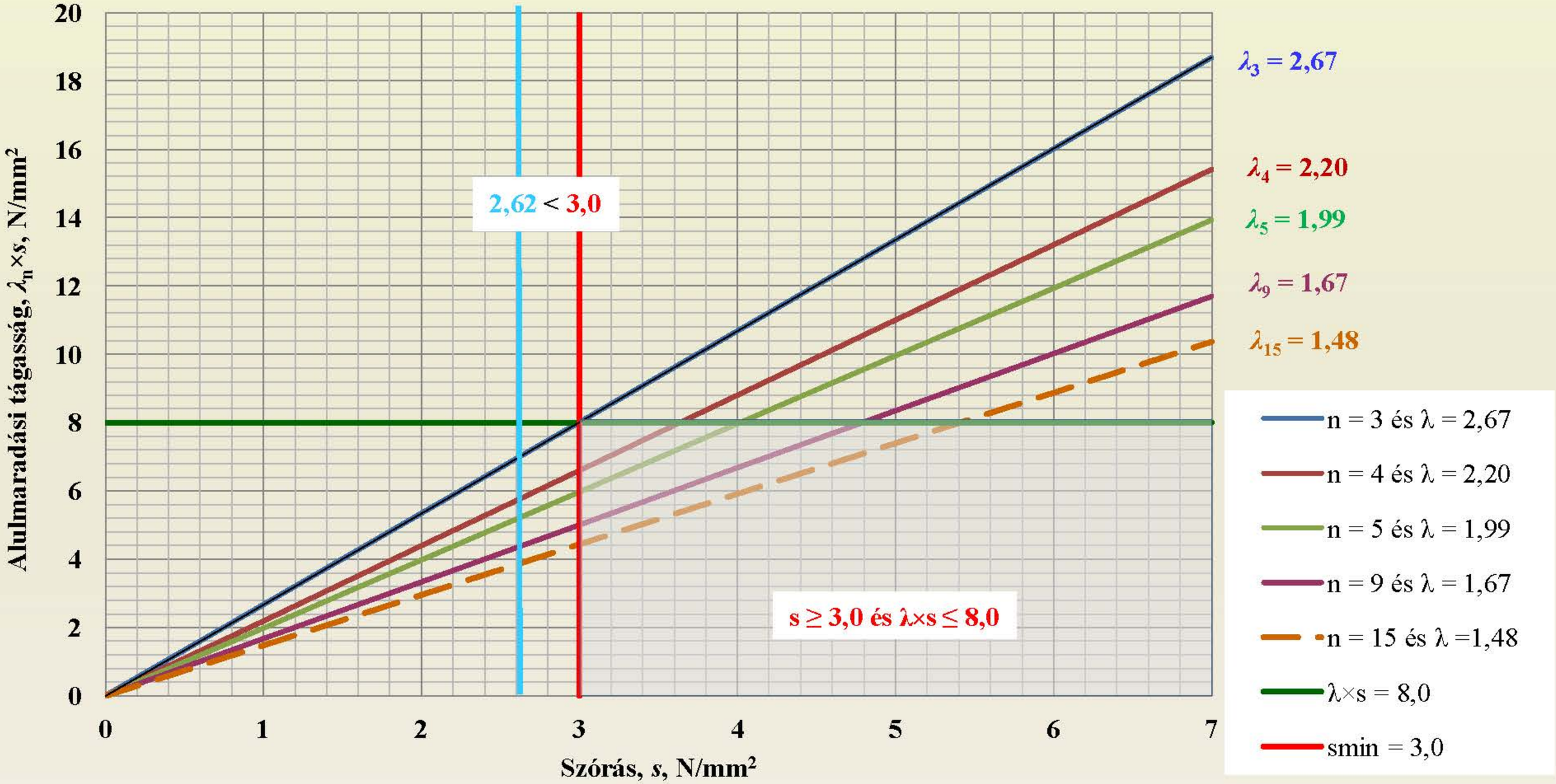
Alulmaradási tágasság *Taerwe*-eloszlás esetén, ha $\lambda_n \times s \leq 7{,}0$ és $s_{min} = 3{,}0$



Az $s_{min} = 3{,}0$ feltétel érvényesüléséhez $\lambda_n \times s \leq 7{,}0$ előírása esetén legalább $n = 4$ próbatest lenne szükséges, mert $\lambda_4 \times s_{min} = 2{,}20 \times 3{,}0 = 6{,}6 < 7{,}0$

$n = 3$ próbatest esetén pedig a *Taerwe*-tényezős összefüggés csak $s_{min} = 2{,}62$ feltétel mellett érvényesülne, mert $\lambda_3 \times s_{min} = 2{,}67 \times 2{,}62 = 7{,}0$

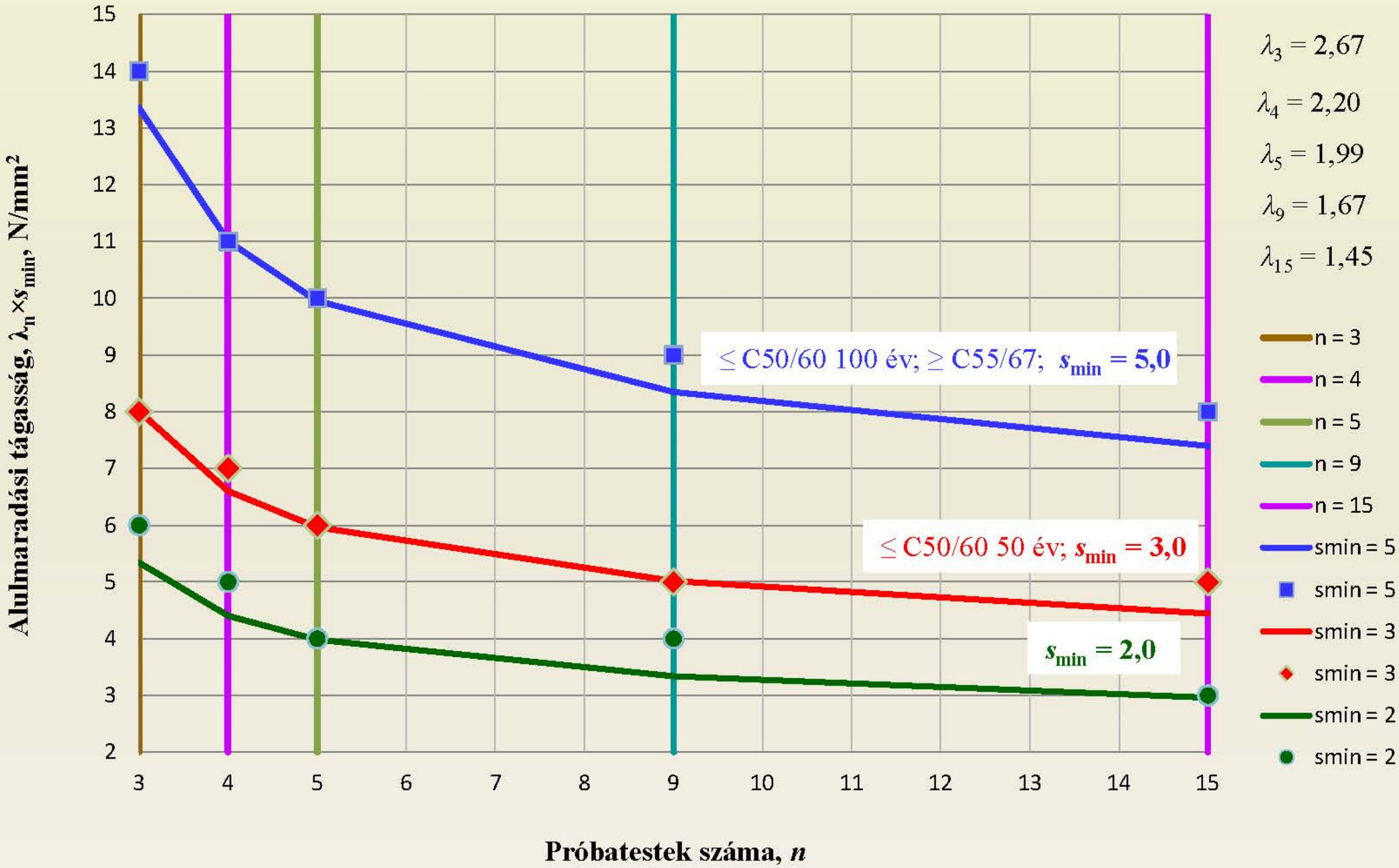
Alulmaradási tágasság *Taerwe*-eloszlás esetén, ha $\lambda_n \times s \leq 8{,}0$ és $s_{min} = 3{,}0$



Az $s_{min} = 3{,}0$ feltétel érvényesüléséhez $\lambda_n \times s \leq 8{,}0$ előírása esetén legalább $n = 3$ próbatest szükséges, mert $\lambda_3 \times s_{min} = 2{,}67 \times 3{,}0 = 8{,}01 \sim 8{,}0$

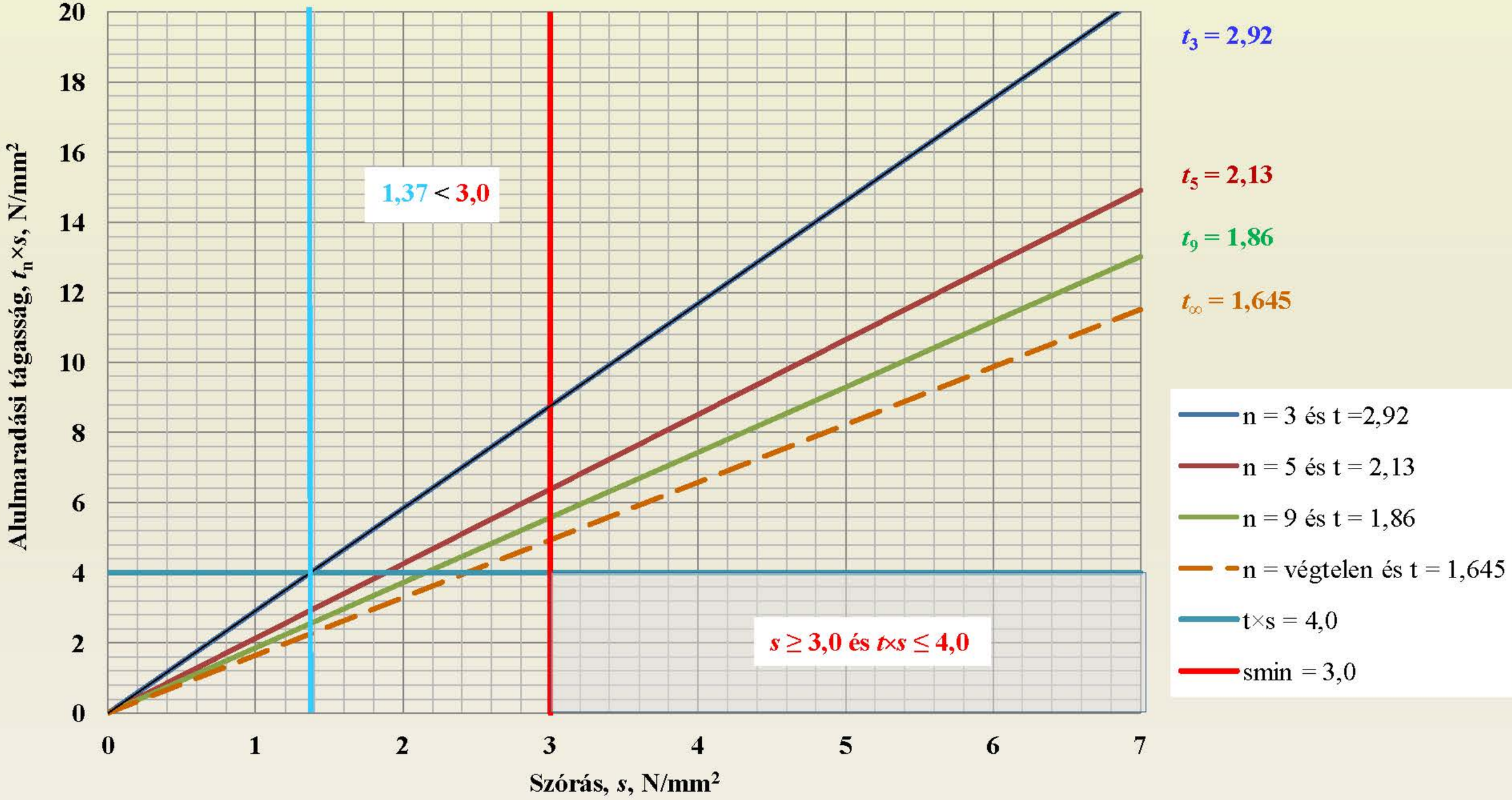
$n = 3$ próbatest esetén tehát a *Taerwe*-tényezős összefüggés $s_{min} = 3{,}0$ feltétel mellett érvényesül, mert $\lambda_3 \times s_{min} = 2{,}67 \times 3{,}0 = 8{,}01$

$\lambda_n \times s_{min}$ alulmaradási tágasság szükséges értéke az *n* darabszám függvényében, *Taerwe*-eloszlás esetén, ahhoz, hogy az s_{min} feltétel ne sérüljön



A vonalak feletti pontok a felfele kerekített egész számú szükséges $\lambda_n \times s_{min}$ értékek

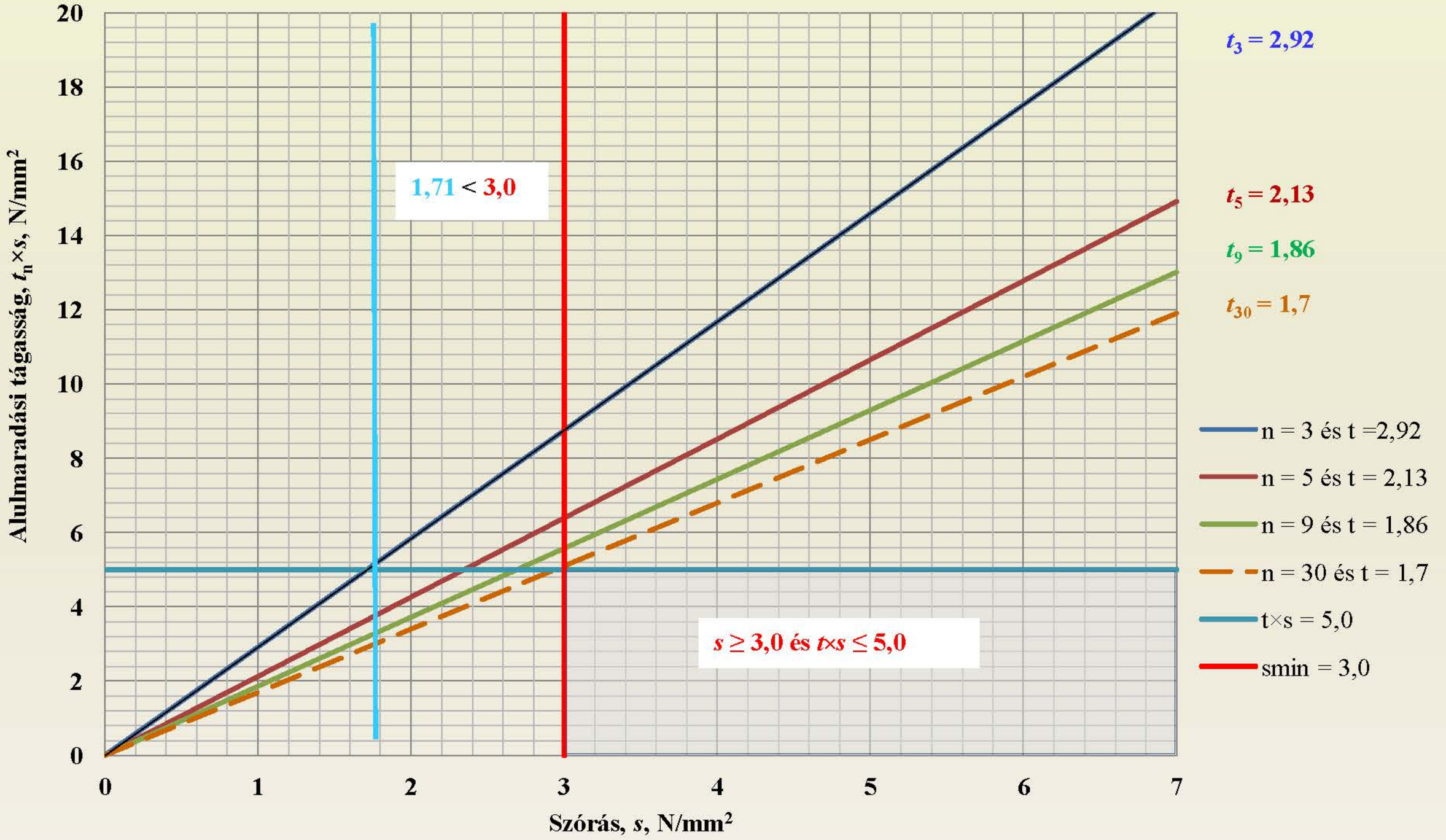
Alulmaradási tágasság *Student*-eloszlás esetén, ha $t_n \times s \leq 4{,}0$ és $s_{min} = 3{,}0$



Az $s_{min} = 3{,}0$ feltétel érvényesüléséhez $t_n \times s \leq 4{,}0$ előírása esetén, végtelen számú próbatest sem lenne elegendő, mert $t_\infty \times s_{min} = 1{,}645 \times 3{,}0 = 4{,}935 < 4{,}0$

$n = 3$ próbatest esetén pedig a *Student*-tényezős összefüggés csak $s_{min} = 1{,}37$ feltétel mellett érvényesülne, mert $t_3 \times s_{min} = 2{,}92 \times 1{,}37 = 4{,}0$

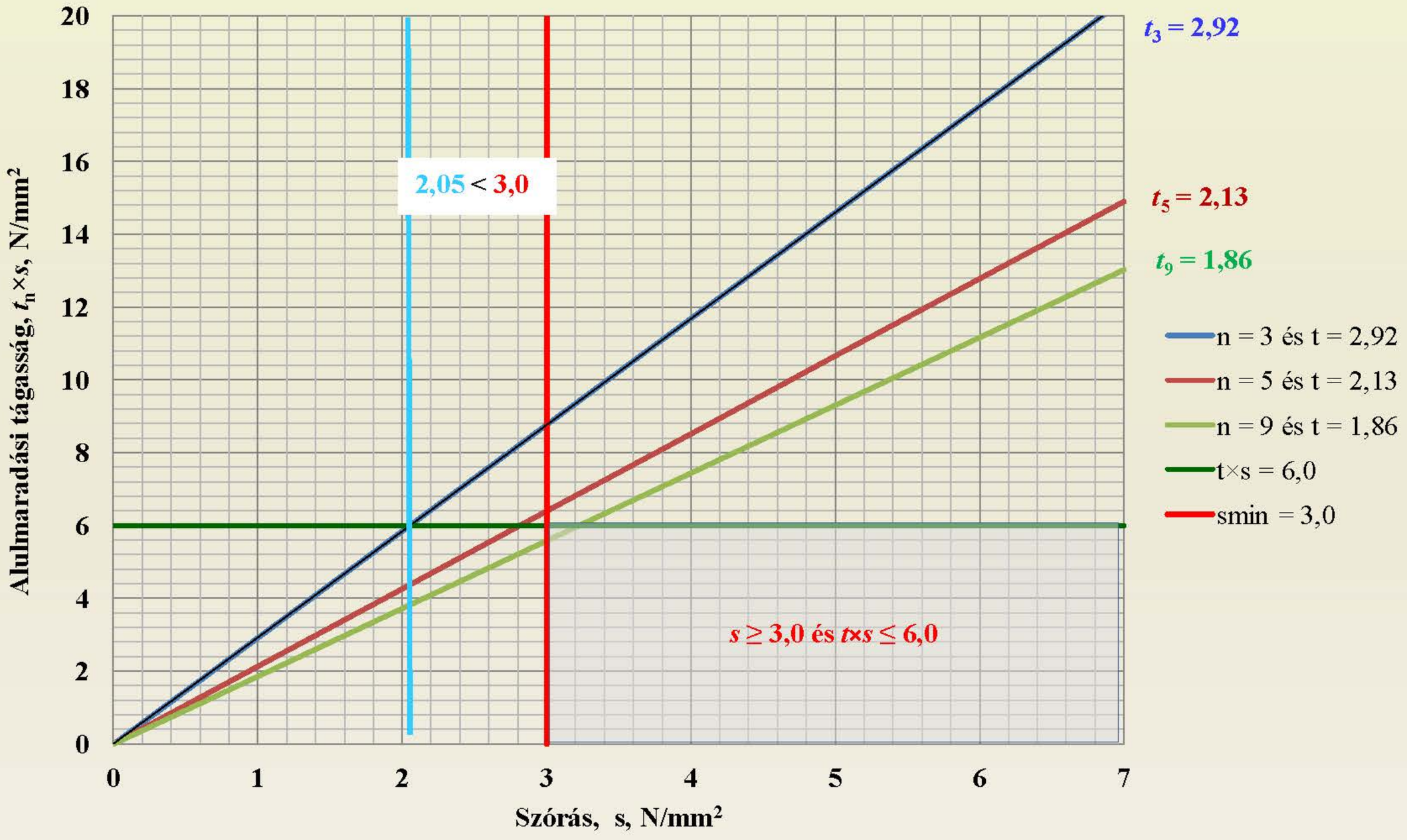
Alulmaradási tágasság *Student*-eloszlás esetén, ha $t_n \times s \leq 5{,}0$ és $s_{min} = 3{,}0$



Az $s_{min} = 3{,}0$ feltétel érvényesüléséhez $t_n \times s \leq 5{,}0$ előírása esetén legalább $n = 30$ próbatest lenne szükséges, mert $t_{30} \times s_{min} = 1{,}7 \times 3{,}0 = 5{,}1 < 5{,}0$

$n = 3$ próbatest esetén pedig a *Student*-tényezős összefüggés csak $s_{min} = 1{,}71$ feltétel mellett érvényesülne, mert $t_3 \times s_{min} = 2{,}92 \times 1{,}71 = 4{,}99 < 5{,}0$

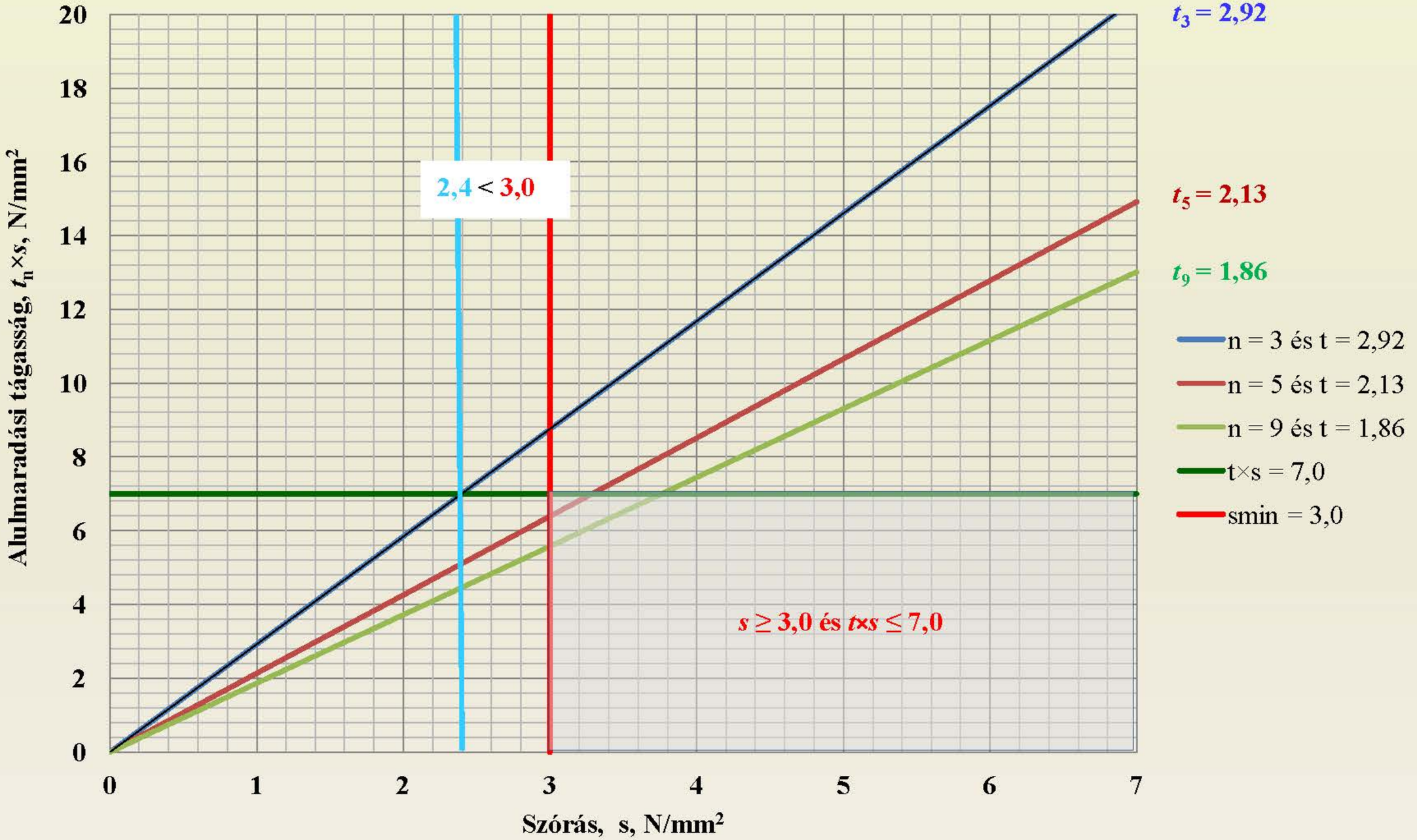
Alulmaradási tágasság *Student*-eloszlás esetén, ha $t_n \times s \leq 6{,}0$ és $s_{min} = 3{,}0$



Az $s_{min} = 3{,}0$ feltétel érvényesüléséhez $t_n \times s \leq 6{,}0$ előírása esetén legalább $n = 9$ próbatest szükséges, mert $t_9 \times s_{min} = 1{,}86 \times 3{,}0 = 5{,}58 < 6{,}0$

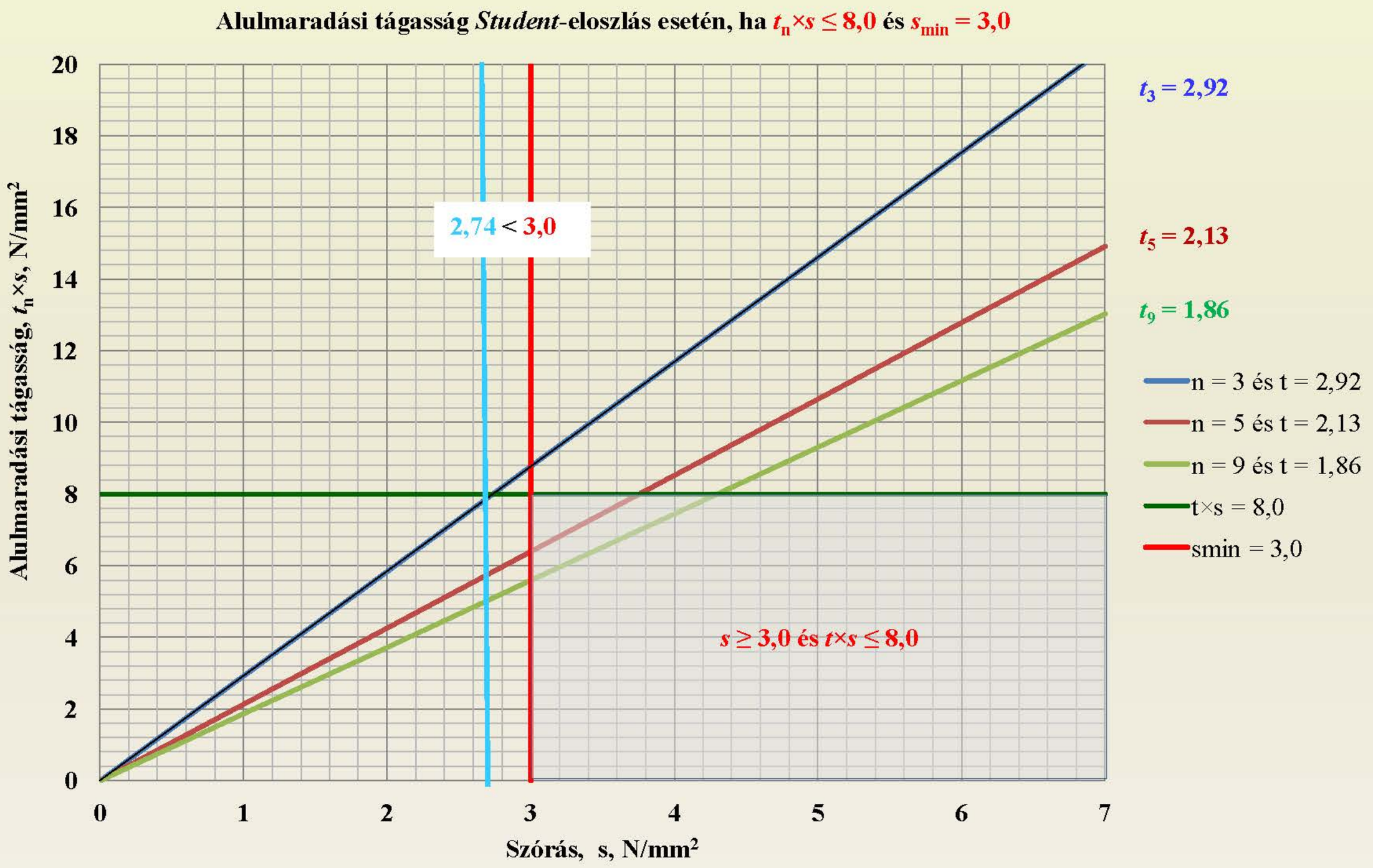
$n = 3$ próbatest esetén pedig a *Student*-tényezős összefüggés csak $s_{min} = 2{,}05$ feltétel mellett érvényesül, mert $t_3 \times s_{min} = 2{,}92 \times 2{,}05 = 5{,}99 < 6{,}0$

Alulmaradási tágasság *Student*-eloszlás esetén, ha $t_n \times s \leq 7{,}0$ és $s_{min} = 3{,}0$



Az $s_{min} = 3{,}0$ feltétel érvényesüléséhez $t_n \times s \leq 7{,}0$ előírása esetén legalább $n = 5$ próbatest szükséges, mert $t_5 \times s_{min} = 2{,}13 \times 3{,}0 = 6{,}39 < 7{,}0$

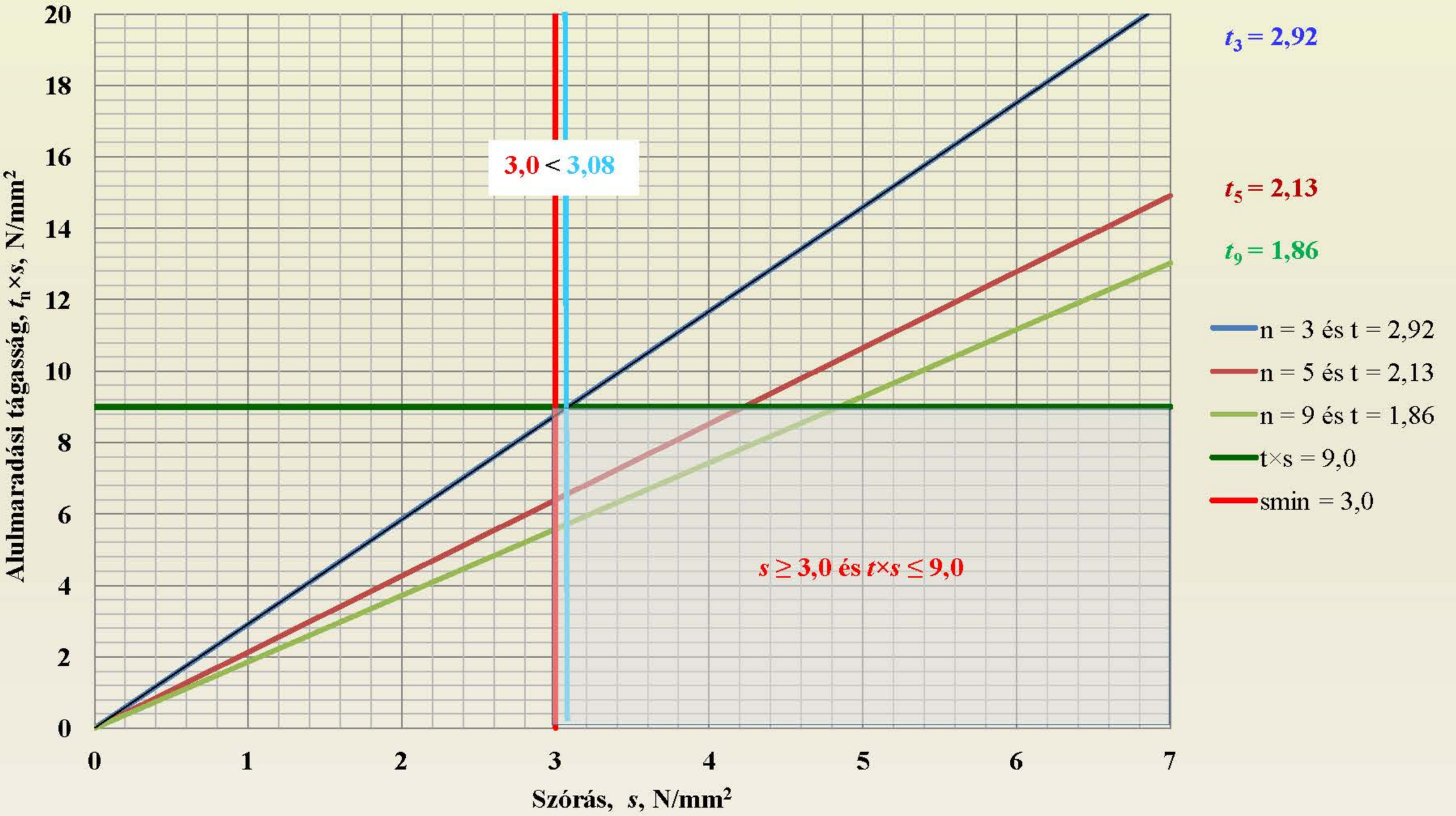
$n = 3$ próbatest esetén pedig a *Student*-tényezős összefüggés csak $s_{min} = 2{,}397 \sim 2{,}4$ feltétel mellett érvényesül, mert $t_3 \times s_{min} = 2{,}92 \times 2{,}397 = 7{,}0$



Az $s_{min} = 3{,}0$ feltétel érvényesüléséhez $t_n \times s \leq 8{,}0$ előírása esetén legalább $n = 5$ próbatest szükséges, mert $t_5 \times s_{min} = 2{,}13 \times 3{,}0 = 6{,}39 < 8{,}0$

$n = 3$ próbatest esetén pedig a *Student*-tényezős összefüggés csak $s_{min} = 2{,}74$ feltétel mellett érvényesül, mert $t_3 \times s_{min} = 2{,}92 \times 2{,}74 = 8{,}0$

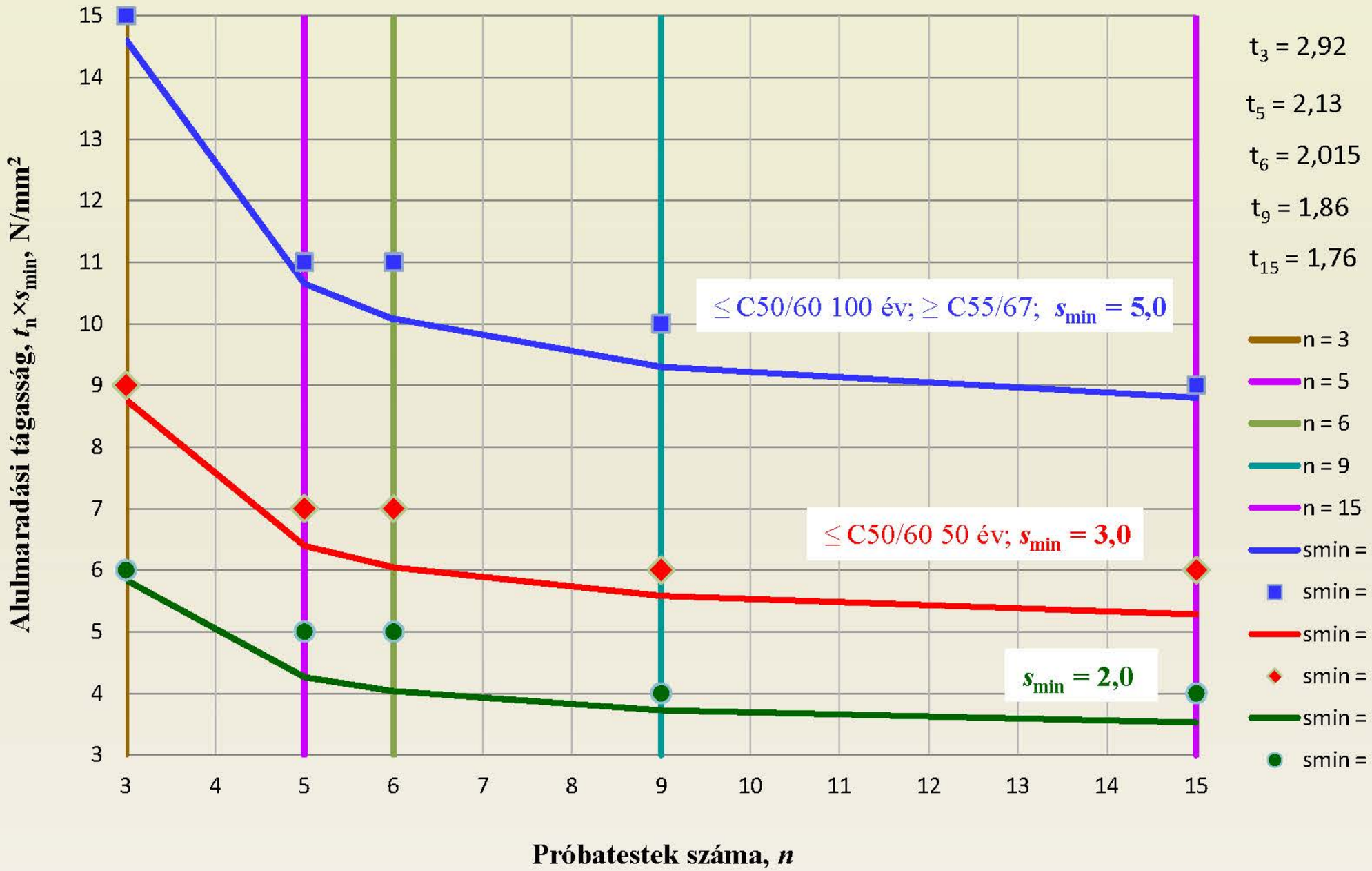
Alulmaradási tágasság *Student*-eloszlás esetén, ha $t_n \times s \leq 9{,}0$ és $s_{min} = 3{,}0$



Az $s_{min} = 3{,}0$ feltétel érvényesüléséhez $t_n \times s \leq 9{,}0$ előírása esetén $n = 3$ próbatest elegendő, mert $t_3 \times s_{min} = 2{,}92 \times 3{,}0 = 8{,}76 < 9{,}0$

$n = 3$ próbatest esetén tehát a *Student*-tényezős összefüggés $s_{min} = 3{,}08$ feltétel mellett érvényesül, mert $t_n \times s / t_3 = 9{,}0/2{,}92 = 3{,}08 > 3{,}0$

$t_n \times s_{min}$ alulmaradási tágasság szükséges értéke az *n* darabszám függvényében, *Student*-eloszlás esetén, ahhoz, hogy az s_{min} feltétel ne sérüljön



A vonalak feletti pontok a felfele kerekített egész számú szükséges $t_n \times s_{min}$ értékek

Alulmaradási tágasság szükséges értéke az *n* darabszám függvényében, ahhoz, hogy az s_{min} feltétel ne sérüljön

Táblázatos összefoglalás

Próbatestek száma, n	Alulmaradási tágasság szükséges értéke ***Taerwe*-eloszlás** esetén, $\lambda_n \times s_{min}$, N/mm²			Alulmaradási tágasság szükséges értéke ***Student*-eloszlás** esetén, $t_n \times s_{min}$, N/mm²		
s_{min}, N/mm²	**2,0**	**3,0**	**5,0**	**2,0**	**3,0**	**5,0**
3	5,34 → **6**	8,01 → **8**	13,35 → **14**	5,84 → **6**	8,76 → **9**	14,60 → 15
4	4,40 → **5**	6,60 → 7	11,00 → **11**	**5**	**8**	**13**
5	3,98 → **4**	5,97 → ***6***	9,95 → **10**	4,26 → **5**	6,39 → 7	10,65 → **11**
6	**4**	**6**	**10**	4,03 → **5**	6,04 → 7	10,08 → **11**
9	3,34 → **4**	5,01 → **5**	8,35 → **9**	3,72 → **4**	5,58 → **6**	9,30 → **10**
15	2,96 → **3**	4,44 → **5**	7,40 → **8**	3,52 → **4**	5,28 → **6**	8,80 → **9**

Hosser, D. – Gensel, D.: **Kritische Bewertung der Statistik beim Konformitätsnachweis der Betondrickfestikkeit nach prEN 206. TU Braunschweig, IBMB (Inst. F. Baustoffe, Massivbau und Brandschutz) Im Auftrag des Deutschen Beton-Verein E.V. Braunschweig, 1995.**

OC-görbe (Operating characteristic curve) szemléletesen mutatja a *Taerwe*- féle és a *Student*- féle eloszlásra épülő nyomószilárdság megfelelőség igazolási eljárás különbözőségét

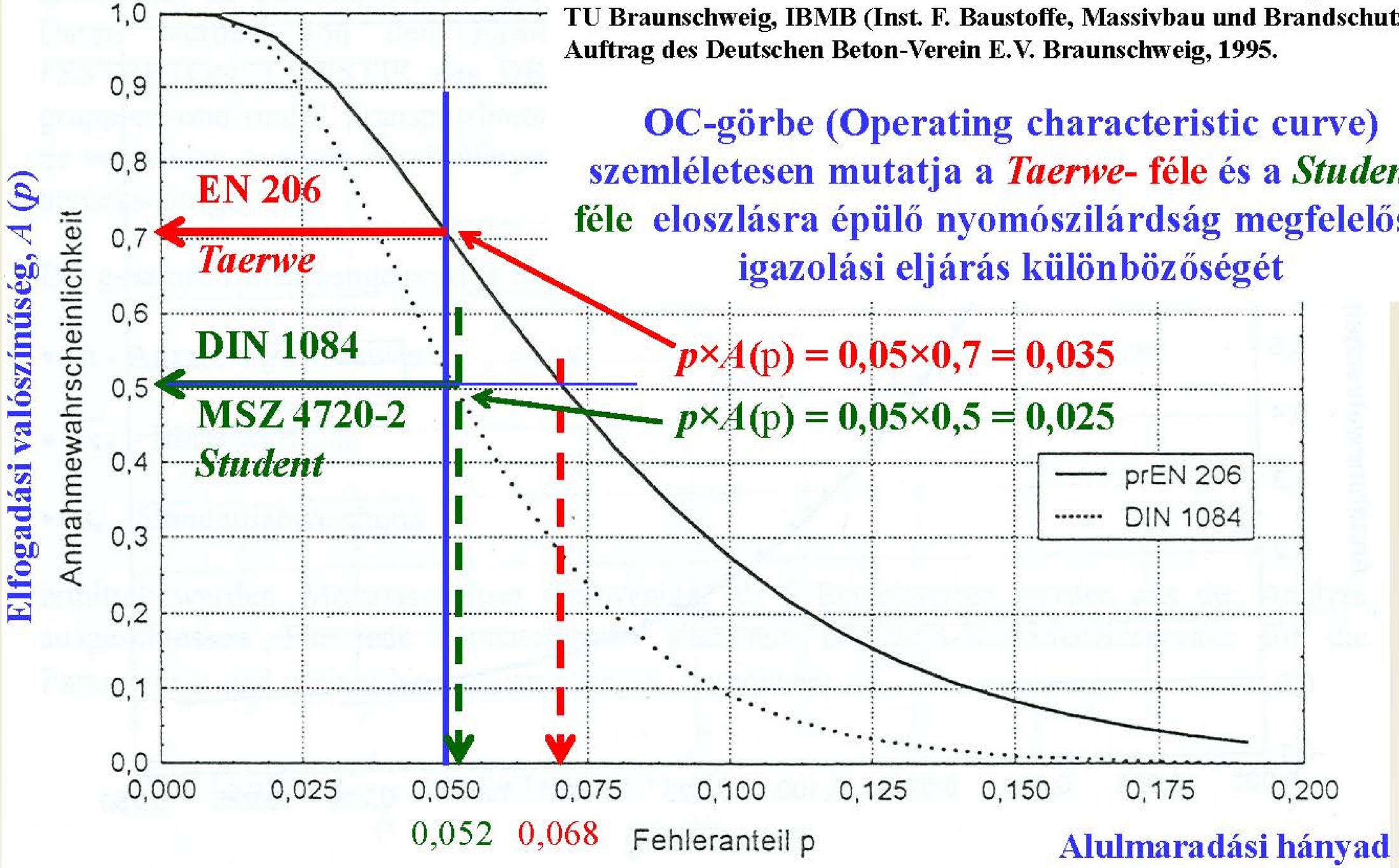


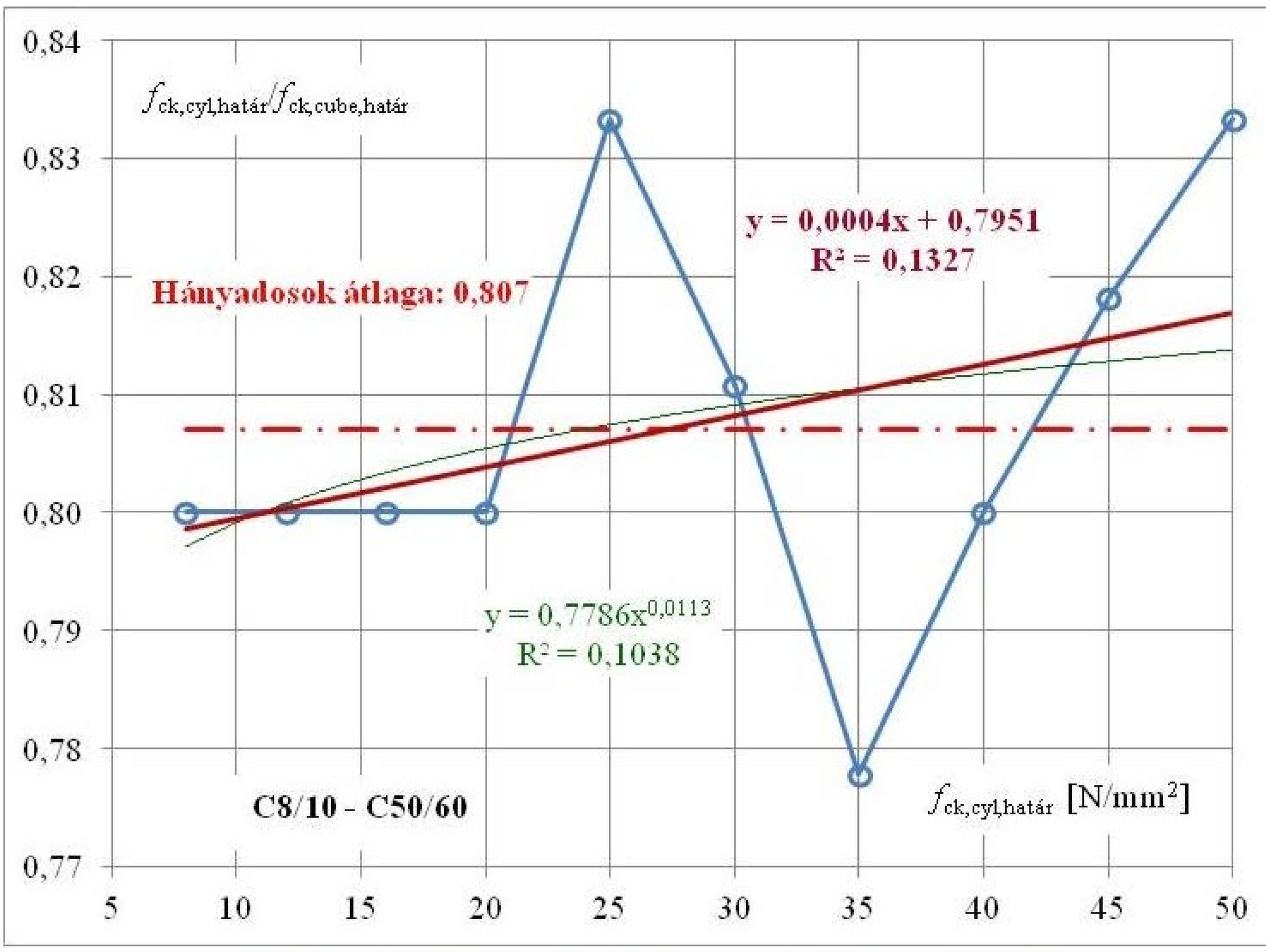
Bild 1: Annahmekennlinien zum Konformitätsnachweis nach prEN 206 und DIN 1084

Elfogadási jelleggörbe a megfelelőség igazolásához az EN 206 és az MSZ 4720-2 szabvány szerint

Beton nyomószilárdságok jellemző értékeinek határhányadosa

C8/10 – C50/60 szokványos szilárdságú betonok tartománya

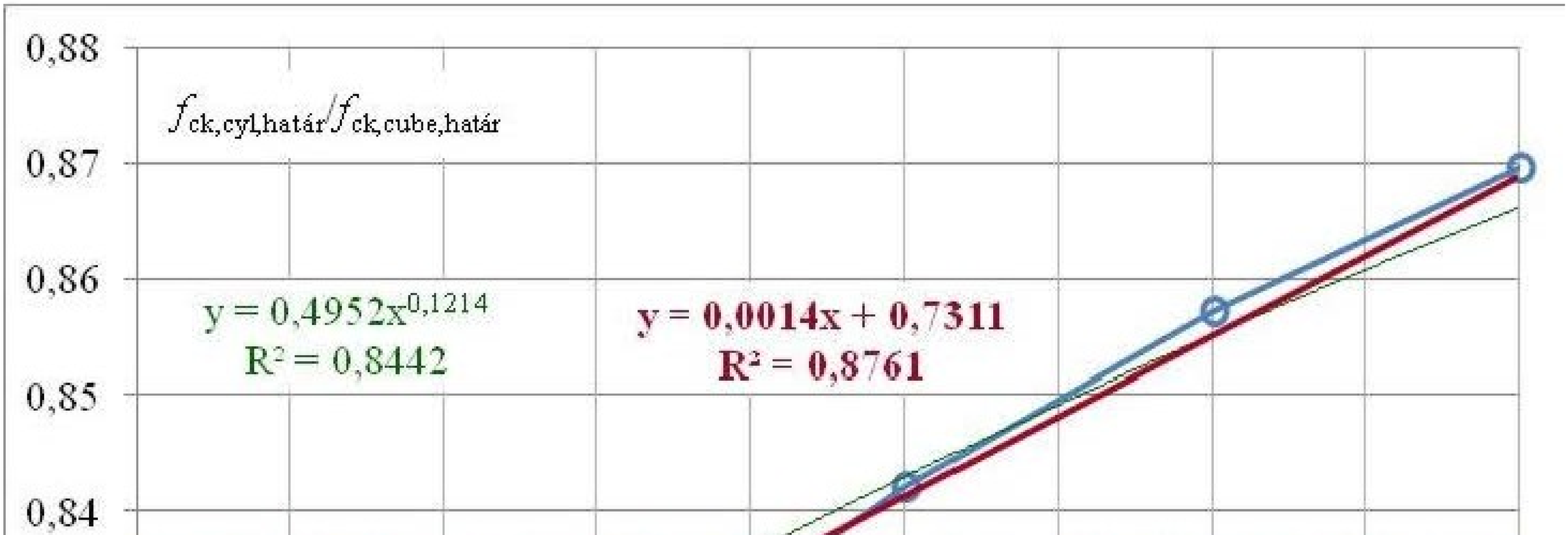
$f_{ck,cyl,határ}$ ①	$f_{ck,cube,határ}$ ②	①/②
8	10	**0,800**
12	15	**0,800**
16	20	**0,800**
20	25	**0,800**
25	30	**0,833**
30	37	**0,811**
35	45	**0,778**
40	50	**0,800**
45	55	**0,818**
50	60	**0,833**
ÁTLAG		**0,807**



C8/10 – C50/60 tartományban: $f_{ck,cyl}/f_{ck,cube} \sim 0{,}807$

C55/67 – C100/115 nagyszilárdságú betonok tartománya

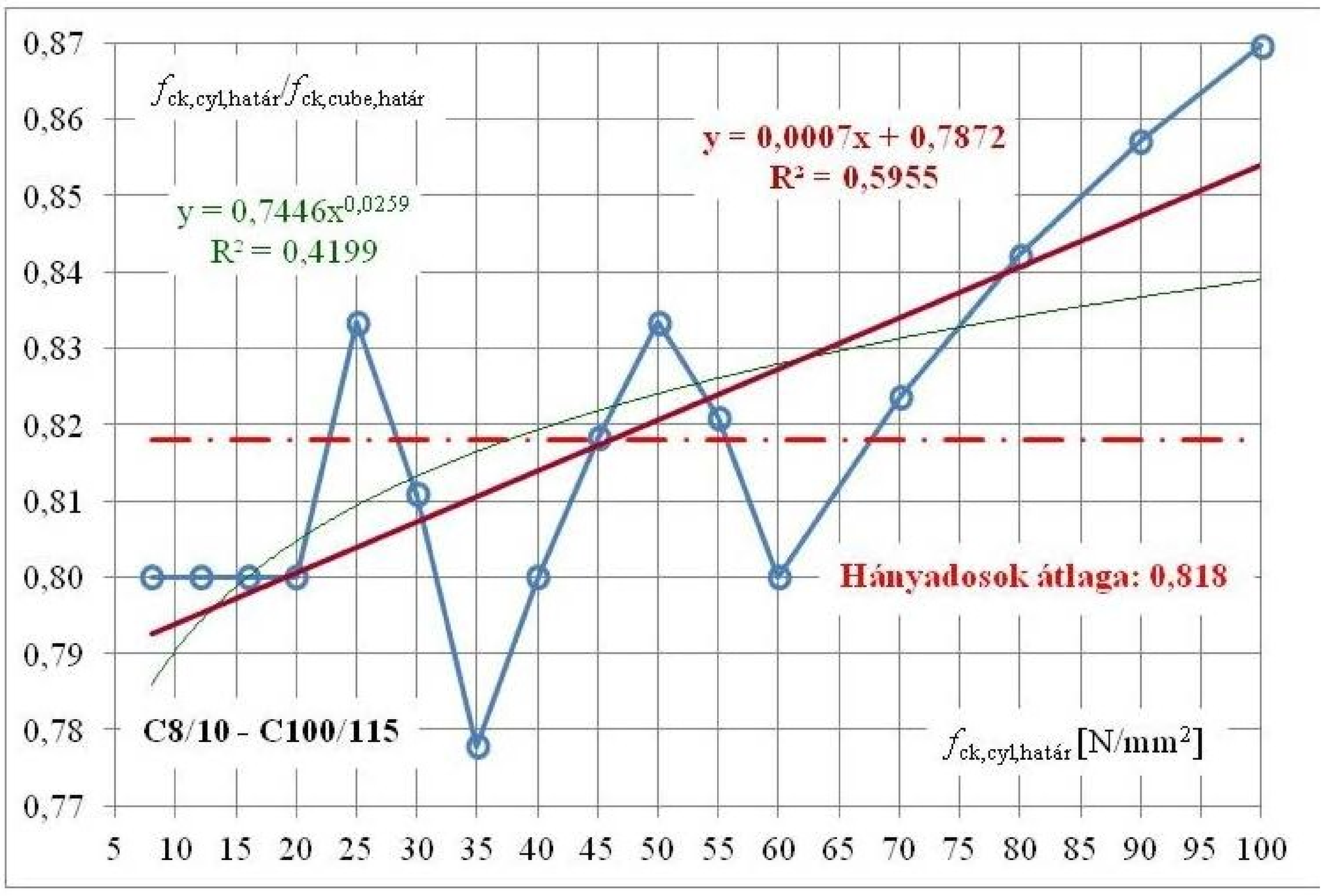
$f_{ck,cyl,határ}$ ①	$f_{ck,cube,határ}$ ②	①/②
55	67	**0,821**
60	75	**0,800**
70	85	**0,824**
80	95	**0,842**
90	105	**0,857**
100	115	**0,870**
ÁTLAG		**0,836**



C55/67 – C100/115 tartományban: $f_{ck,cyl}/f_{ck,cube} \sim$ 0,836

C8/10 – C100/115 nyomószilárdsági osztályú betonok tartománya

$f_{ck,cyl,határ}$ ①	$f_{ck,cube,határ}$ ②	①/②
8	10	**0,800**
12	15	**0,800**
16	20	**0,800**
20	25	**0,800**
25	30	**0,833**
30	37	**0,811**
35	45	**0,778**
40	50	**0,800**
45	55	**0,818**
50	60	**0,833**
55	67	**0,821**
60	75	**0,800**
70	85	**0,824**
80	95	**0,842**
90	105	**0,857**
100	115	**0,870**
ÁTLAG		**0,818**



C8/10 – C100/115 tartományban: $f_{ck,cyl}/f_{ck,cube} \sim 0{,}818$

Kapcsolat az egyazon betonkeverékből származó, azonos minőségű, 150 mm élhosszúságú próbakockák és Ø150×300 mm méreteű próbahengerek nyomószilárdságának konstans értékű előírt alulmaradási tágassága között

$$konst_{cube} = (f_{cm,cube} / f_{cm,cyl}) \times konst_{cyl}$$

C8/10 – C50/60 szokványos szilárdságú betonok esetén

$f_{ck,cyl}/f_{ck,cube} \sim 0{,}807$ és $f_{ck,cube} = f_{ck,cyl}/0{,}807 \rightarrow f_{ck,cube} \approx f_{ck,cyl}/0{,}82$

$f_{cm,cyl}/f_{cm,cube} = 0{,}82$ és $f_{cm,cube} = f_{cm,cyl}/0{,}82$

$f_{ck,cyl} = f_{cm,cyl} - konst_{cyl}$ és $f_{cm,cyl} - f_{ck,cyl} = konst_{cyl}$

$f_{ck,cube} = f_{cm,cube} - konst_{cube}$ és $konst_{cube} = f_{cm,cube} - f_{ck,cube}$

$konst_{cube} = f_{cm,cyl}/0{,}82 - f_{ck,cyl}/0{,}82 = (1/0{,}82) \times (f_{cm,cyl} - f_{ck,cyl}) = (1/0{,}82) \times konst_{cyl}$

$konst_{cube} = (1/0{,}82) \times konst_{cyl}$

$f_{cm,cyl} = f_{ck,cyl} + konst_{cyl}$

$f_{cm,cube} = f_{ck,cube} + konst_{cube} = f_{ck,cube} + (1/0{,}82) \times konst_{cyl}$

Például:

$f_{cm,cyl} = f_{ck,cyl} + 5{,}74\ N/mm^2$

$f_{cm,cube} = f_{ck,cube} + 7{,}0\ N/mm^2$

C55/67 – C100/115 nagyszilárdságú betonok esetén

$f_{ck,cyl}/f_{ck,cube} \sim 0{,}836$ és $f_{ck,cube} = f_{ck,cyl}/0{,}836 \rightarrow f_{ck,cube} \approx f_{ck,cyl}/0{,}84$

$f_{cm,cyl}/f_{cm,cube} = 0{,}84$ és $f_{cm,cube} = f_{cm,cyl}/0{,}84$

$f_{ck,cyl} = f_{cm,cyl} - konst_{cyl}$ és $f_{cm,cyl} - f_{ck,cyl} = konst_{cyl}$

$f_{ck,cube} = f_{cm,cube} - konst_{cube}$ és $konst_{cube} = f_{cm,cube} - f_{ck,cube}$

$konst_{cube} = f_{cm,cyl}/0{,}84 - f_{ck,cyl}/0{,}84 = (1/0{,}84) \times (f_{cm,cyl} - f_{ck,cyl}) = (1/0{,}84) \times konst_{cyl}$

$konst_{cube} = (1/0{,}84) \times konst_{cyl}$

$f_{cm,cyl} = f_{ck,cyl} + konst_{cyl}$

$f_{cm,cube} = f_{ck,cube} + konst_{cube} = f_{ck,cube} + (1/0{,}84) \times konst_{cyl}$

Például:

$f_{cm,cyl} = f_{ck,cyl} + 7{,}56\ N/mm^2$

$f_{cm,cube} = f_{ck,cube} + 9{,}0\ N/mm^2$

Megjegyzés: $f_{cm,test} \geq f_{ck} + konst$ **formájú nyomószilárdság megfelelőségi feltételek az MSZ EN 1992-1-1:2010, MSZ EN 206:2014, MSZ 4798:2016 stb. szabványokban szerepelnek.**

MSZ EN 1992-1-1:2010	**„Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok”**
MSZ EN 206:2014	**„Beton. Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség”**
MSZ 4798:2016	**„Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelőség, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon”**

BETON-NYOMÓSZILÁRDSÁG ÉRTÉKELÉSE *WEIBULL*-ELOSZLÁSSAL

1. Bevezetés

Az extrémérték-eloszlás vagy más szóval extremális-eloszlás egy eloszláscsaládot leíró gyűjtőfogalom, amely azért figyelemre méltó, mert a műszaki tudományokban is elterjedten alkalmazott normális-eloszlással (*Gauss*-eloszlással) és *t*-eloszlással (*Student*-eloszlással) szemben az extrémérték-eloszlás általában nem – vagy csak kivételes esetekben, és akkor is csak közelítőleg – szimmetrikus, és ezért a tényleges valószínűségi előfordulások modellezésére széleskörben alkalmazható.[1]

Az extremális-eloszlás betontechnológiai szempontból azért érdemel figyelmet, mert *Mistéth Endre* (1974, 1977) nyomán *Ujhelyi János* (1978, 1985) szerint átlagos színvonalú betonkészítés esetén a nyomószilárdság valószínűségi eloszlása a kisebb szilárdságú betonok (B 50 – B 140, mai C16/20 alatti betonok) tartományában, vagy az erősen képlékeny konzisztencia esetén a jobbra ferde (jobbra elnyúló, pozitív ferdeségű) logaritmikusan normális-eloszlással (lognormális-eloszlással) közelíthető, míg a nagyobb szilárdságok tartományában (B 400 – B 560, mai C20/25 fölötti betonok), vagy földnedves konzisztencia esetén a balra ferde (balra elnyúló, negatív ferdeségű) második alsó extremális-eloszlással közelíthető.[2]

A közepes szilárdságok (B 200 – B 280, mai C16/20 – C20/25) tartományában normálisnak tekinthető a nyomószilárdság eloszlása. Ezt az elvet a gyakorlatban a beton nyomószilárdsága jellemző értékének, illetve alulmaradási tágasságának kiszámításához a szilárdság eloszlásának ferdeségét figyelembe vevő k tényező $k = 0{,}54 + 0{,}1027 \times \sqrt{R_m}$ összefüggésének – amelyben R_m az átlagos nyomószilárdság N/mm^2 mértékegységben – alkalmazásával 1980 júliusa és 2004 augusztusa között az MSZ 4720-2:1980 szabvány érvénye idején követtük. A mai MSZ EN szabványokban a betonszilárdságok normális-eloszlását, tehát a szilárdságértékek szimmetrikus eloszlását tételezik fel.

Mistéth Endre (1974, 1977, 2000, 2001) tanulmányaiban arról írt, hogy a terhek maximumainak eloszlásfüggvénye a felső extrémérték-eloszlást, a teherhordó anyagok tulajdonságai minimumainak eloszlásfüggvénye az alsó harmadik extrémérték-eloszlást követi. *W. Weibull* kísérletei alapján a rideg anyagok, mint például a nagyobb szilárdságú betonok nyomószilárdságának az eloszlására az alsó III. *Weibull* extrémérték-eloszlás bizonyult igaznak.

A beton nyomószilárdság vizsgálati eredményeinek értékelése az aszimmetriát jól kifejező alsó Weibull-eloszlással az MSZ EN 206:2013+A2:2021 betonszabványban beton-

---

[1] Például:

- a visszavont DIN 1055-100:2001 szabványban a változó hatások jellemző (karakterisztikus) értékének fogalmát, amely ritkán fellépő értéknek felel meg, adott referencia-időszakra vonatkozóan az extrémérték-eloszlás 98%-os kvantiliseként határozták meg;
- az acél fáradási élettartamát az extrémérték-eloszláscsaládba tartozó *Weibull*-eloszlással szokás jellemezni (*Braml,* 2010);
- *Mistéth Endre* méretezéselmélete az extrémérték-eloszláson alapul (lásd: *Weibull*-eloszlás);
- Az MSZ EN 1990:2011 Eurocode méretezési szabványban a meteorológiai hatásokat extrémérték-eloszlás feltételezésével vették figyelembe.

[2] Az *Ujhelyi* (1978, 1985) említette „második alsó extremális-eloszlás" alatt a III. típusú alsó *Weibull*-eloszlás értendő, ugyanis *Mistéth Endre* hivatkozott műveiben (1974, 1977, 2001) a *Weibull*-eloszlást II. típusú extrémérték-eloszlásként (extremális-eloszlásként) tárgyalta, és *Ujhelyi János* ezt a sorszámozást *Mistéth Endrétől* átvette. *Mistéth* (1974) idevágó mondata így szól: „Az alsó extremumok eloszlásfüggvényei közül a II. típusú a leggyakoribb. A műszaki gyakorlatban még *Weibull*-eloszlás néven is ismert."

Ujhelyi János dolgozataiban a balra elnyúló sűrűségfüggvényű (negatív ferdeségű) eloszlást jobbra ferdülőnek nevezte. Dolgozatunkban a negatív ferdeségű eloszlást balra ferdülőnek tekintjük.

és vasbeton szerkezeteink biztonságát és tartósságát szolgálná, hasonlóképpen ahhoz, ahogy 1980 és 2004 között az MSZ 4720-2 magyar szabványban a biztonság és a tartósság érdekében a jellemző érték (karakterisztikus érték, f_{ck}) kiszámításához egy k ferdeségi tényezőt alkalmaztunk. Az MSZ 4720-2:1980 magyar szabványban a beton nyomószilárdságának karakterisztikus értékét az $f_{ck,test} = f_{cm,test} - k \times t_n \times s_{test}$ képlettel számítottuk ki, ahol t_n a *Student*-tényező és s_{est} a szórás. A k ferdeségi tényező értéke a betonnyomószilárdság átlagának ($f_{cm,test}$) volt a függvénye.

2. Extrémérték-eloszlás, extremális-eloszlás

A matematikai statisztikában extrémérték-eloszláson a független és azonos eloszlású x_i valószínűségi változójú n elemű minták nagyság szerint sorba rendezett mintaelemei szélsőértékeinek, azaz a minták legnagyobb vagy legkisebb értékeinek (vizsgálati adatainak), az ún. extrémértékeknek vagy kiugró értékeknek a valószínűségi eloszlását értik. Az extrémérték-eloszlás nem csak a szélsőértékek, hanem a jellemző értékek (karakterisztikus értékek) valószínűségi eloszlásának leírására is alkalmas (*Rinne*, 1995).

Más értelemben például a normális-eloszlás eloszlás esetén kiugró értékeknek azokat tekintik, amelyek a szórás háromszorosánál jobban eltérnek az átlagtól.

Az extrémérték-eloszlásnak a leghíresebb kutatóikról nevezett három típusa van, amelyek mindegyike a szélsőérték jellégétől függően felső vagy alsó extrémérték-eloszlás (*1. táblázat*).

1. táblázat: Egyparaméteres, egyszerűsített (reduced) extrémérték-eloszlások sűrűségfüggvénye (*Rinne*, 2009)

Típus	A legnagyobb (felső vagy maximális) extrémértékek eloszlásának	A legkisebb (alsó vagy minimális) extrémértékek eloszlásának
	egyszerűsített sűrűségfüggvénye	
I.	$g_f(u\|0;1) = e^{-u-e^{-u}}$ felső *Gumbel*-eloszlás	$g_a(u\|0;1) = e^{u-e^{u}}$ alsó *Gumbel*-eloszlás
II.	$f_{Fr,f}(u\|0;1;c) =$ $= c \times u^{-c-1} \times e^{-u^{-c}}$ felső *Fréchet*-eloszlás	$f_{Fr,a}(u\|0;1;c) =$ $= c \times (-u)^{-c-1} \times e^{-(-u)^{-c}}$ alsó *Fréchet*-eloszlás
III.	$w_f(u\|0;1;c) =$ $= c \times (-u)^{c-1} \times e^{-(-u)^{c}}$ felső *Weibull*-eloszlás	$w_a(u\|0;1;c) =$ $= c \times u^{c-1} \times e^{-u^{c}}$ alsó *Weibull*-eloszlás

3. A *Weibull*-eloszlás paramétereinek meghatározása

A *Waloddi Weibull* (1887–1979) svéd mérnök és matamatikus 1939 és 1977 közötti munkásságán alapuló *Weibull*-eloszlásnak három paramétere van, mint az „a” helyparaméter (az irodalomban például x_0-val is jelölik), a „b” skálaparaméter (az irodalomban például λ-val is jelölik) és a „c” alakparaméter (az irodalomban például k-val is jelölik).

A háromparaméteres alsó *Weibull*-eloszlás a = 0 helyettesítéssel kétparaméteres, a = 0 és b = 1 helyettesítéssel egyparaméteres alsó *Weibull*-eloszlássá transzformálható.

A betonnyomószilárdság vizsgálat eredményének *Mistéth*-elmélet szerinti értékeléséhez ismerni kell a vizsgálati eredmények eloszlását leíró alsó *Weibull*-eloszlás paramétereinek értékét.

Alapvetésünk ezek meghatározásához, hogy

- az egyparaméteres, egyszerűsített alsó *Weibull*-eloszlás ferdeségi együtthatója megegyezik a mérésekkel kapott tapasztalati ferdeségi együtthatóval:

$$\gamma_{\text{skewness,Weibull,alsó}}(u|0;1;\text{c}) = \gamma_{\text{skewness,test}}$$

- a kétparaméteres, félig egyszerűsített alsó *Weibull*-eloszlás szórása megegyezik a mérésekkel kapott tapasztalati szórással:

$$s_{\text{Weibull,alsó}}(z|0;\text{b};\text{c}) = s_{\text{test}}$$

- a háromparaméteres alsó *Weibull*-eloszlás várható értéke megegyezik a mérésekkel kapott tapasztalati átlaggal:

$$\mu_{\text{Weibull,alsó}}(x|\text{a};\text{b};\text{c}) = f_{\text{cm,test}},$$

- a háromparaméteres alsó *Weibull*-eloszlás tapasztalati átlaggal azonosnak tekintett várható értékének és a kétparaméteres, félig egyszerűsített alsó *Weibull*-eloszlás várható értékének különbsége azonos az „a” helyparaméter értékével:

$$\text{a} = f_{\text{cm,test}} - \mu_{\text{Weibull,alsó}}(z|0;\text{b};\text{c})$$

Az „a” helyparaméter, „b” skálaparaméter és „c” alakparaméter értéke meghatározásának ajánlott lépései a következők:

- Első lépés: Az egyparaméteres, egyszerűsített alsó *Weibull*-eloszlás ferdeségi együtthatójának képletébe beírjuk a mérésekkel kapott tapasztalati ferdeségi együttható értékét ($\gamma_{\text{skewness,test}}$), és implicit iterációval megkeressük a *Weibull*-eloszlás „c” alakparaméterének a tapasztalati ferdeségi együtthatóhoz tartozó értékét:

$$\gamma_{\text{skewness,Weibull,alsó}}(u|0;1;\text{c}) =$$

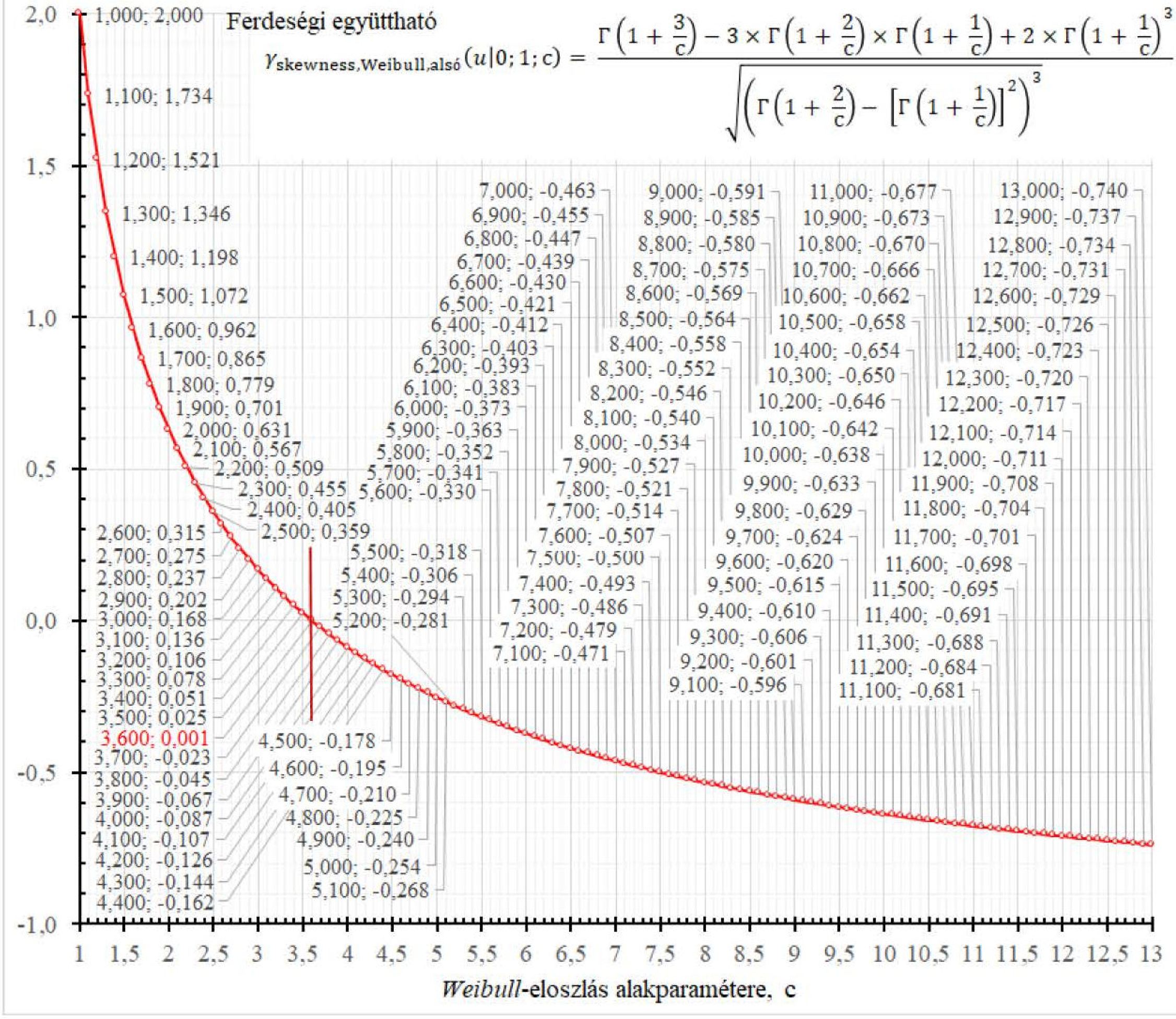
$$= \frac{\Gamma\left(1+\frac{3}{\text{c}}\right) - 3\times\Gamma\left(1+\frac{2}{\text{c}}\right)\times\Gamma\left(1+\frac{1}{\text{c}}\right) + 2\times\Gamma\left(1+\frac{1}{\text{c}}\right)^3}{\sqrt{\left(\Gamma\left(1+\frac{2}{\text{c}}\right) - \left[\Gamma\left(1+\frac{1}{\text{c}}\right)\right]^2\right)^3}} =$$

$$= \gamma_{\text{skewness,test}}$$

A mérési eredményekből a tapasztalati ferdeségi együttható értékét, amely a harmadrendű momentumnak (μ_3) és a szórás harmadik hatványának a hányadosa (s_n^3), a következő képlettel számítjuk ki *(Palotás*, 1979), (*Hartung* et al., 2009):

$$\gamma_{\text{skewness,test}} = \frac{\mu_3}{s_n^3} = \frac{\left(\frac{1}{\text{n}}\times\sum_{\text{i}=1}^{\text{n}}(x_\text{i} - \bar{x})^3\right)}{\sqrt[2]{\left(\frac{1}{\text{n}}\times\sum_{\text{i}=1}^{\text{n}}(x_\text{i} - \bar{x})^2\right)^3}}$$

A fokozatos közelítés (iteráció) során különböző „c” értékek felvételével addig ismételjük az egyparaméteres alsó *Weibull*-eloszlás ferdeségi együtthatójának a kiszámítását, ameddig a tapasztalati ferdeségi együttható értékét legjobban (például három tizedesre) megközelítő értéket megkapjuk. Ehhez segítségünkre lehet az *1. ábra.*



1. ábra: Az egyparaméteres, egyszerűsített *Weibull*-eloszlás ferdeségi együtthatója a „c” alakparaméter függvényében

- Második lépés: A kétparaméteres, félig egyszerűsített alsó *Weibull*-eloszlás szórásának képletébe beírjuk a már ismert „c” alakparaméter értékét és a beton-nyomószilárdság mérésekkel kapott tapasztalati szórásának az értékét (s_{test}), és implicit iterációval megkeressük a *Weibull*-eloszlás „b” skálaparaméterének a tapasztalati szóráshoz tartozó értékét:

$$s_{\text{Weibull,alsó}}(z|0;\text{b};\text{c}) = s_{test} = \text{b}\times\sqrt{\Gamma\left(1+\frac{2}{\text{c}}\right) - \Gamma\left(1+\frac{1}{\text{c}}\right)^2}$$

A fokozatos közelítés (iteráció) során különböző „b” értékek felvételével addig ismételjük a kétparaméteres alsó *Weibull*-eloszlás szórásának a kiszámítását, ameddig a tapasztalati szórás értékét legjobban (például három tizedesre) megközelítő értéket megkapjuk.

Ebben segítségünkre lehet

- a *2.* és a *3. ábra*, amelyeken a félig egyszerűsített, kétparaméteres alsó *Weibull*-eloszlás *z* független változója szórásának diagramjait a „b" skálaparaméter és a „c" alakparaméter függvényében ábrázoltuk, valamint
- a *4. ábra* és az *5. ábra*, amelyeken a félig egyszerűsített, kétparaméteres alsó *Weibull*-eloszlás *z* független változója szórással arányos

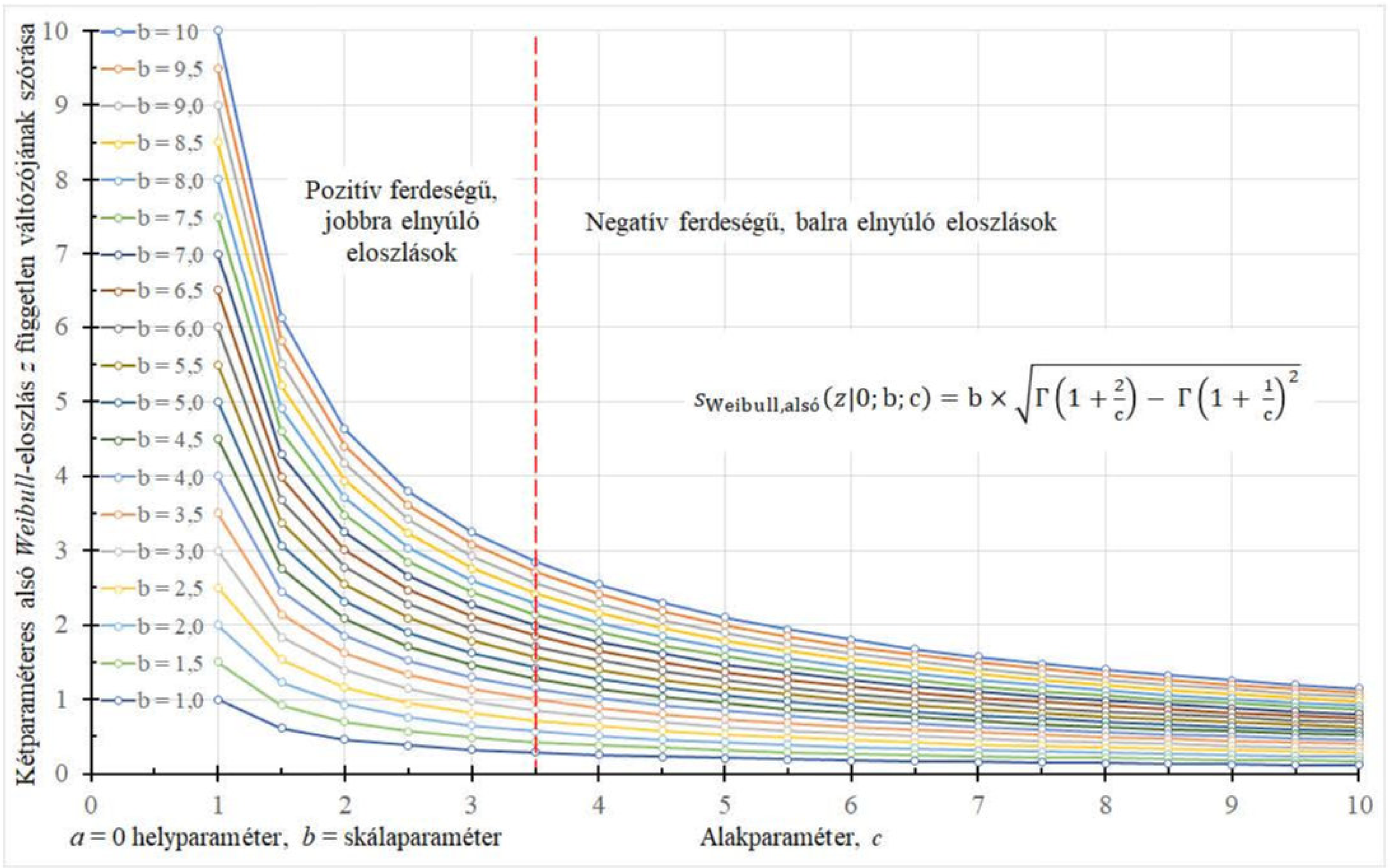
$$\sqrt{\Psi_c} = \frac{s_{\text{Weibull,alsó}}}{b} = \sqrt{\Gamma\left(1+\frac{2}{c}\right) - \left[\Gamma\left(1+\frac{1}{c}\right)\right]^2}$$

szórás/skálaparaméter hányadosának diagramját, illetve a szórás/skálaparaméter hányados négyzetének

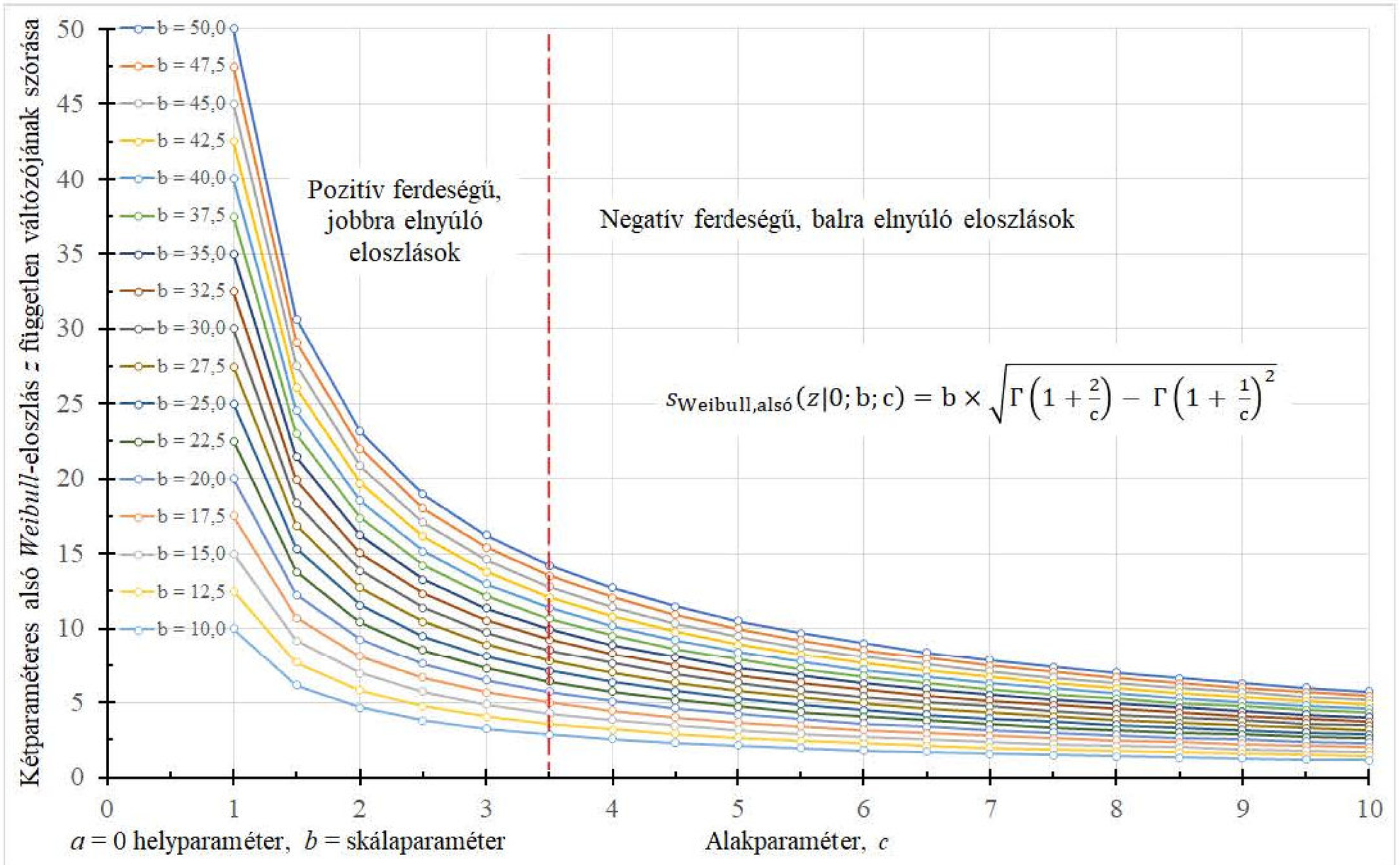
$$\Psi_c = \left(\frac{s_{\text{Weibull,alsó}}}{b}\right)^2 = \Gamma\left(1+\frac{2}{c}\right) - \left[\Gamma\left(1+\frac{1}{c}\right)\right]^2$$

diagramját rajzoltuk meg.

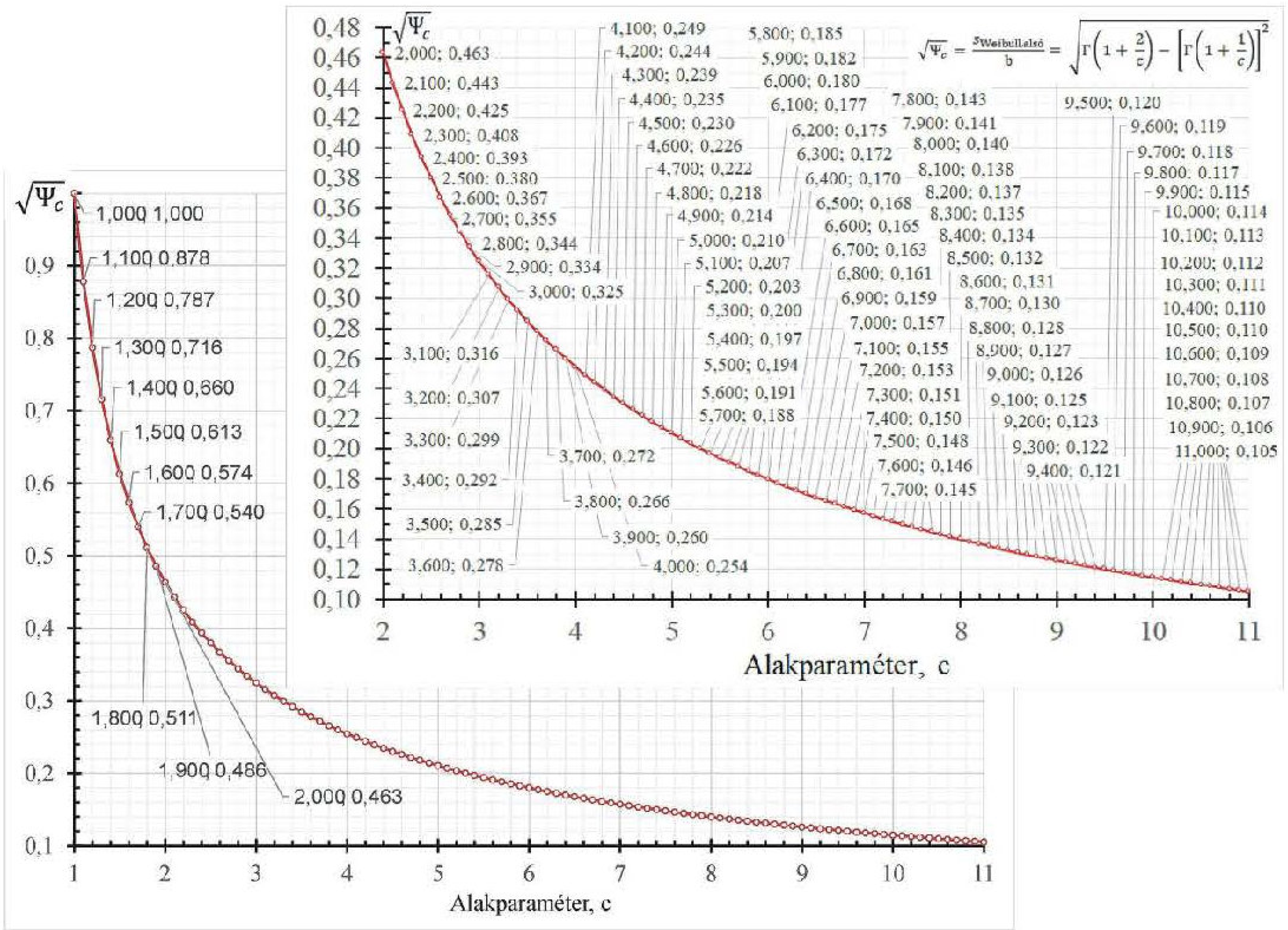
Ha szükséges, akkor a kiszámított „b" skálaparaméter felhasználásával a „c" alakparaméter értékét pontosítani lehet.



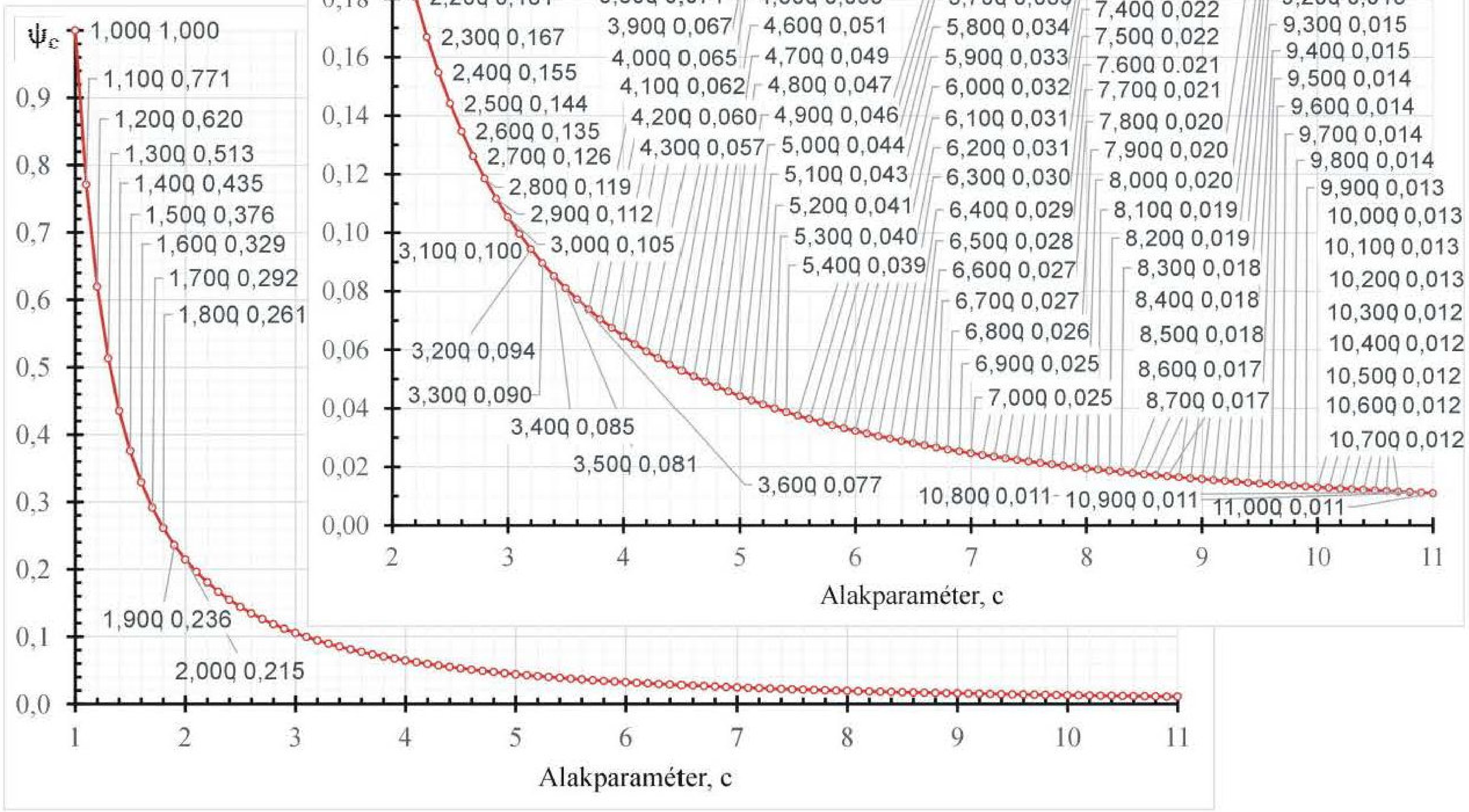
2. ábra: Az „a" helyparaméterrel félig egyszerűsített, kétparaméteres alsó *Weibull*-eloszlás *z* független változójának szórása a „b" skálaparaméter és a „c" alakparaméter függvényében, ha $1{,}0 \leq b \leq 10{,}0$ és ha $1{,}0 \leq c \leq 10{,}0$



3. ábra: Az „a” helyparaméterrel félig egyszerűsített, kétparaméteres alsó *Weibull*-eloszlás *z* független változójának szórása a „b” skálaparaméter és a „c” alakparaméter függvényében, ha $10{,}0 \leq b \leq 50{,}0$ és ha $1{,}0 \leq c \leq 10{,}0$



4. ábra: A félig egyszerűsített, kétparaméteres alsó *Weibull*-eloszlás szórással arányos $\sqrt{\Psi_c}$ szórás/skálaparaméter hányadosa a „c” alakparaméter függvényében



5. ábra: A félig egyszerűsített, kétparaméteres alsó *Weibull*-eloszlás szórásnégyzetével arányos négyzetre emelt $\sqrt{\Psi_c}$ szórás/skálaparaméter hányadosa (Ψ_c) a „c” alakparaméter függvényében

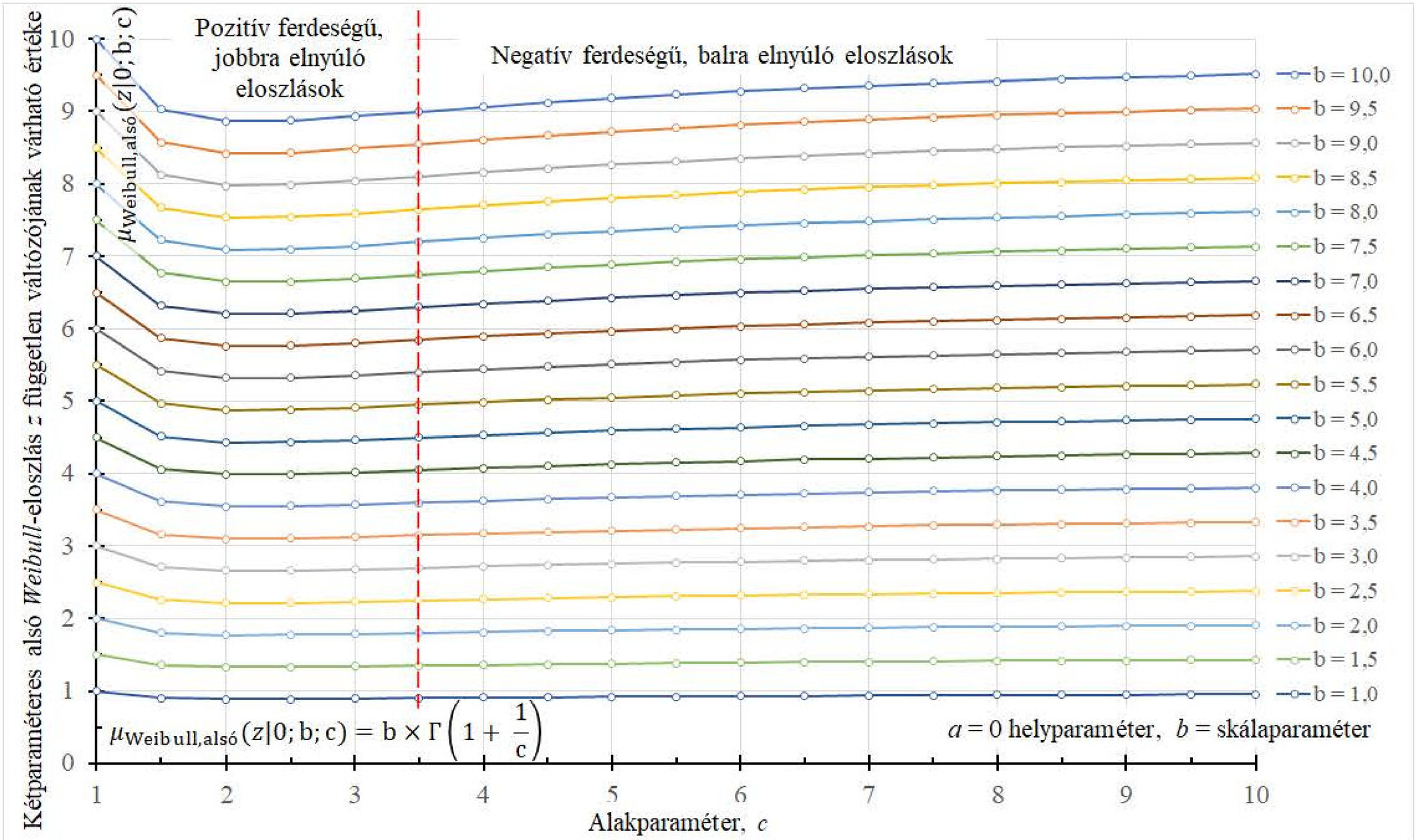
- Harmadik lépés: A már ismert „b” skálaparaméter és „c” alakparaméter felhasználásával implicit iterációval kiszámítjuk a kétparaméteres, félig egyszerűsített alsó *Weibull*-eloszlás $\mu_{Weibull,alsó}(z|0;b;c)$ várható értékét:

$$\mu_{Weibull,alsó}(z|0;b;c) = b \times \Gamma\left(1+\frac{1}{c}\right)$$

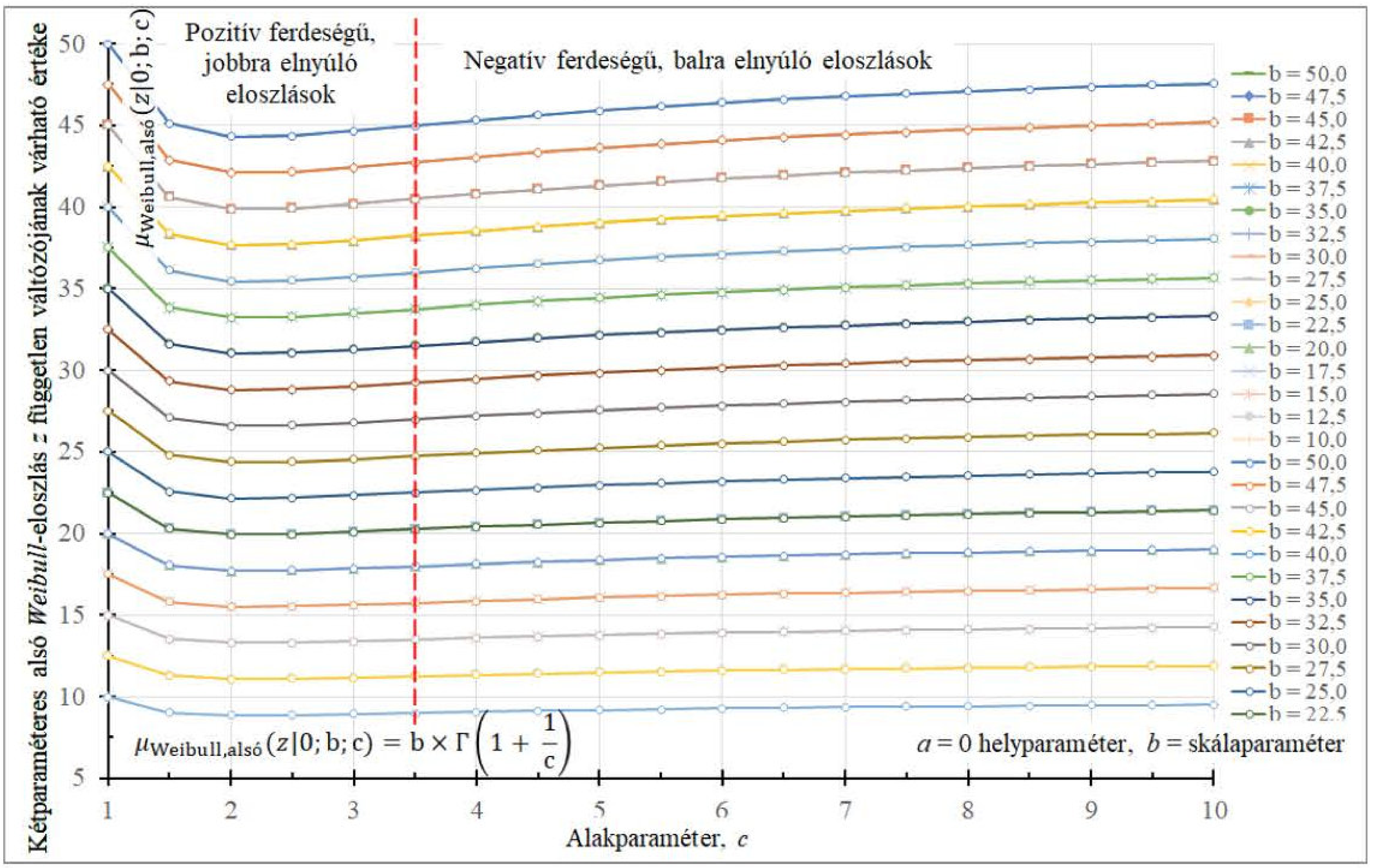
A kétparaméteres, félig egyszerűsített alsó *Weibull*-eloszlás $\mu_{Weibull,alsó}(z|0;b;c)$ várható értékének a „b” skálaparaméter és a „c” alakparaméter függvényében rajzolt diagramja a *6.* és a *7. ábrán* látható.

Az „a” helyparaméter értékét megkapjuk, ha alapvetésünknek megfelelően a kétparaméteres, félig egyszerűsített alsó *Weibull*-eloszlás kiszámított $\mu_{Weibull,alsó}(z|0;b;c)$ várható értékét a beton-nyomószilárdság mérési eredményeinek $f_{cm,test}$ tapasztalati átlagából kivonjuk:

$$a = f_{cm,test} - \mu_{Weibull,alsó}(z|0;b;c)$$

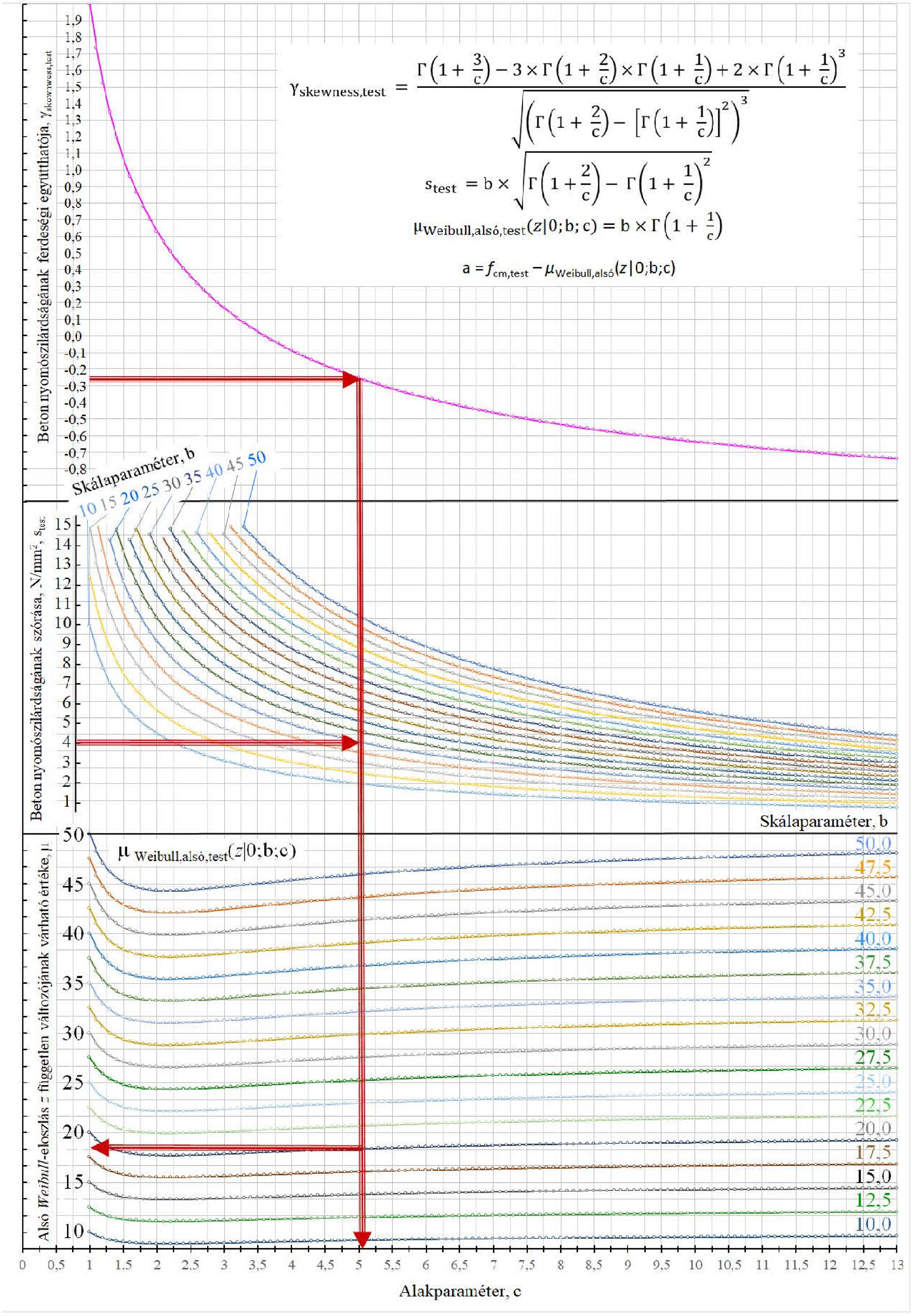


6. ábra: Az „a” helyparaméterrel félig egyszerűsített, kétparaméteres alsó *Weibull*-eloszlás *z* független változójának várható értéke a „b” skálaparaméter és a „c” alakparaméter függvényében, ha $1{,}0 \leq b \leq 10{,}0$ és ha $1{,}0 \leq c \leq 10{,}0$



7. ábra: Az „a” helyparaméterrel félig egyszerűsített, kétparaméteres alsó *Weibull*-eloszlás *z* független változójának várható értéke a „b” skálaparaméter és a „c” alakparaméter függvényében, ha $10{,}0 \leq b \leq 50{,}0$ és ha $1{,}0 \leq c \leq 10{,}0$

- Negyedik lépés: Az *1.* - *7. ábra* felhasználásával nomogramot lehet szerkeszteni (*8. ábra*), amelyen a *Weibull*-eloszlás paramétereinek számítási eredményei összefüggésükben jeleníthetők meg.



8. ábra: Nomogram az alsó *Weibull*-eloszlás paramétereinek meghatározásához

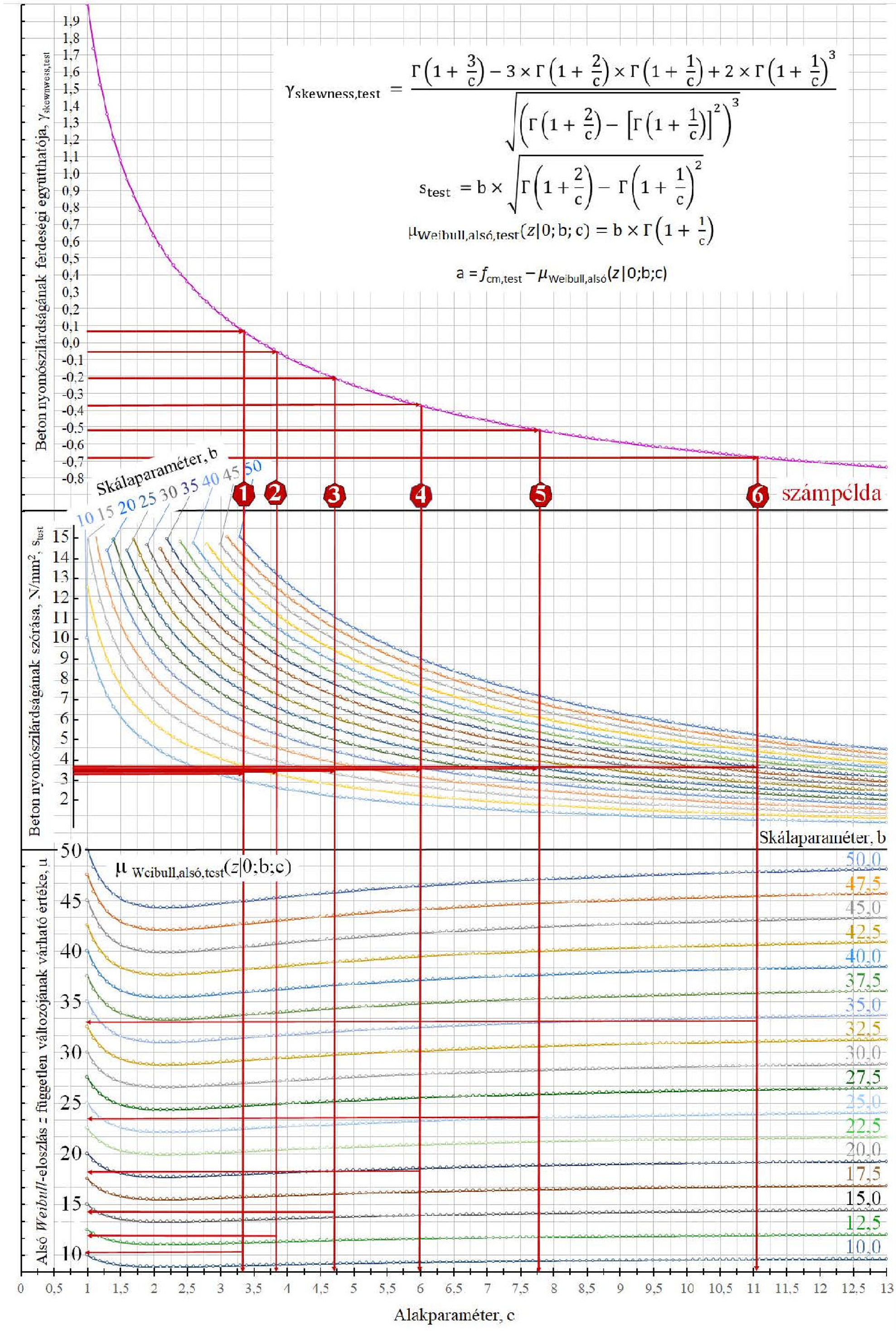
4. Számpélda a beton nyomószilárdságának értékelésére *Weibull*-eloszlással

A *Weibull*-eloszlás paramétereinek fenn javasolt számításmódjával számpéldákat oldottunk meg. A számpéldák kiindulási adata a beton nyomószilárdságának tapasztalati átlaga, tapasztalati szórása és tapasztalati ferdeségi együtthatója, a számítás főbb eredménye a kétparaméteres *Weibull*-eloszlás várható értéke, a helyparaméter, a skálaparaméter, az alakparaméter értéke, valamint a beton *Weibull*-eloszlású nyomószilárdságának tapasztalati jellemző értéke és tapasztalati alulmaradási tágassága (*2. táblázat*).

2. táblázat: Számpéldák a *Weibull*-féle alsó harmadik extrémérték-eloszlás betonanyagtani alkalmazására

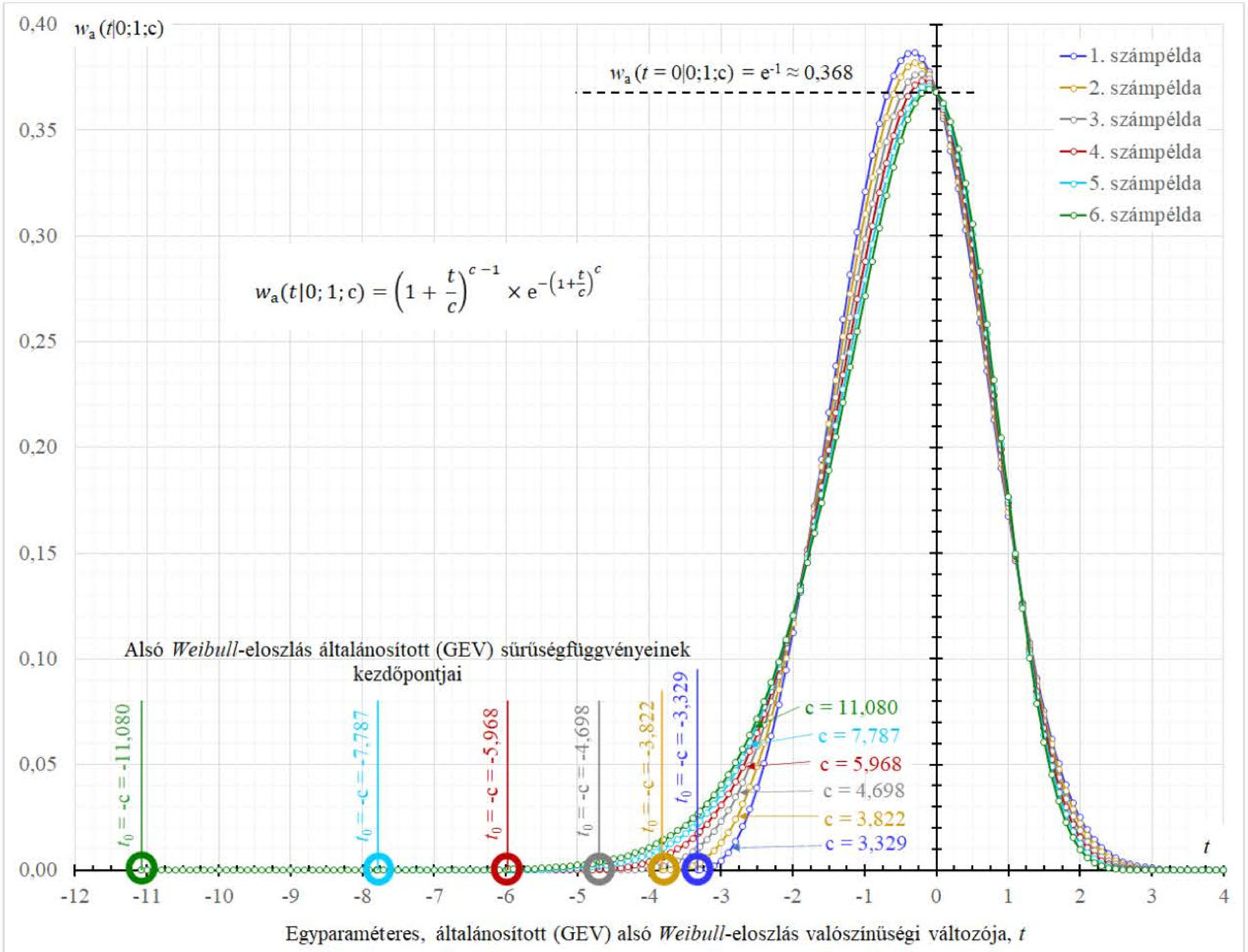
A SZÁMPÉLDA JELE					
1.	2.	3.	4.	5.	6.
A SZÁMPÉLDÁK RÉGEBBI KÍSÉRLETI EREDMÉNYEKEN ALAPULÓ KIINDULÁSI ADATAI					
A beton nyomószilárdsági osztálya, MSZ EN 1992-1-1:2010					
C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50
A beton nyomószilárdságának tapasztalati átlaga, N/mm^2, $f_{cm,cyl,test}$ MSZ EN 1992-1-1:2010					
24	28	33	38	43	48
A beton nyomószilárdságának tapasztalati szórása, N/mm^2, s_{test}					
3,40	3,45	3,50	3,55	3,60	3,65
A beton nyomószilárdságának tapasztalati relatív szórása, $s_{rel,test}$					
0,142	0,123	0,106	0,093	0,084	0,076
A beton nyomószilárdságának tapasztalati ferdeségi együtthatója, $\gamma_{skewness,test}$					
+0,07	-0,05	-0,21	-0,37	-0,52	-0,68
A SZÁMÍTÁS EREDMÉNYE					
Az egyparaméteres, egyszerűsített *Weibul*l-eloszlás várható értéke, $\mu_{\mathrm{Weibull}}(u\|0;1;c)$					
0,897	0,904	0,915	0,927	0,941	0,955
A kétparaméteres, félig egyszerűsített *Weibull*-eloszlás várható értéke, $\mu_{\mathrm{Weibull}}(z\|0;b;c)$					
10,271	11,802	14,436	18,230	23,660	33,430
A *Weibull*-eloszlás helyparamétere, a					
13,729	16,198	18,564	19,770	19,340	14,570
A *Weibull*-eloszlás skálaparamétere, b					
11,445	13,054	15,780	19,656	25,157	34,992
A *Weibull*-eloszlás alakparamétere, c					
3,329	3,822	4,698	5,968	7,787	11,080
A beton *Weibull*-eloszlású nyomószilárdságának tapasztalati jellemző értéke (5%-os karakterisztikus értéke), N/mm^2, $f_{ck,test}$					
18,419	22,199	26,939	31,720	36,519	41,334
A beton *Weibull*-eloszlású nyomószilárdságának tapasztalati alulmaradási tágassága, N/mm^2, $f_{cm,test} - f_{ck,test}$					
5,581	5,801	6,061	6,280	6,481	6,666
A számpélda szerint alulmaradási tényező (tapasztalati alulmaradási tágasság / tapasztalati szórás)					
1,641	1,681	1,732	1,769	1,800	1,826

A számpéldák megoldásának folyamatát a *9. ábra* szemlélteti.

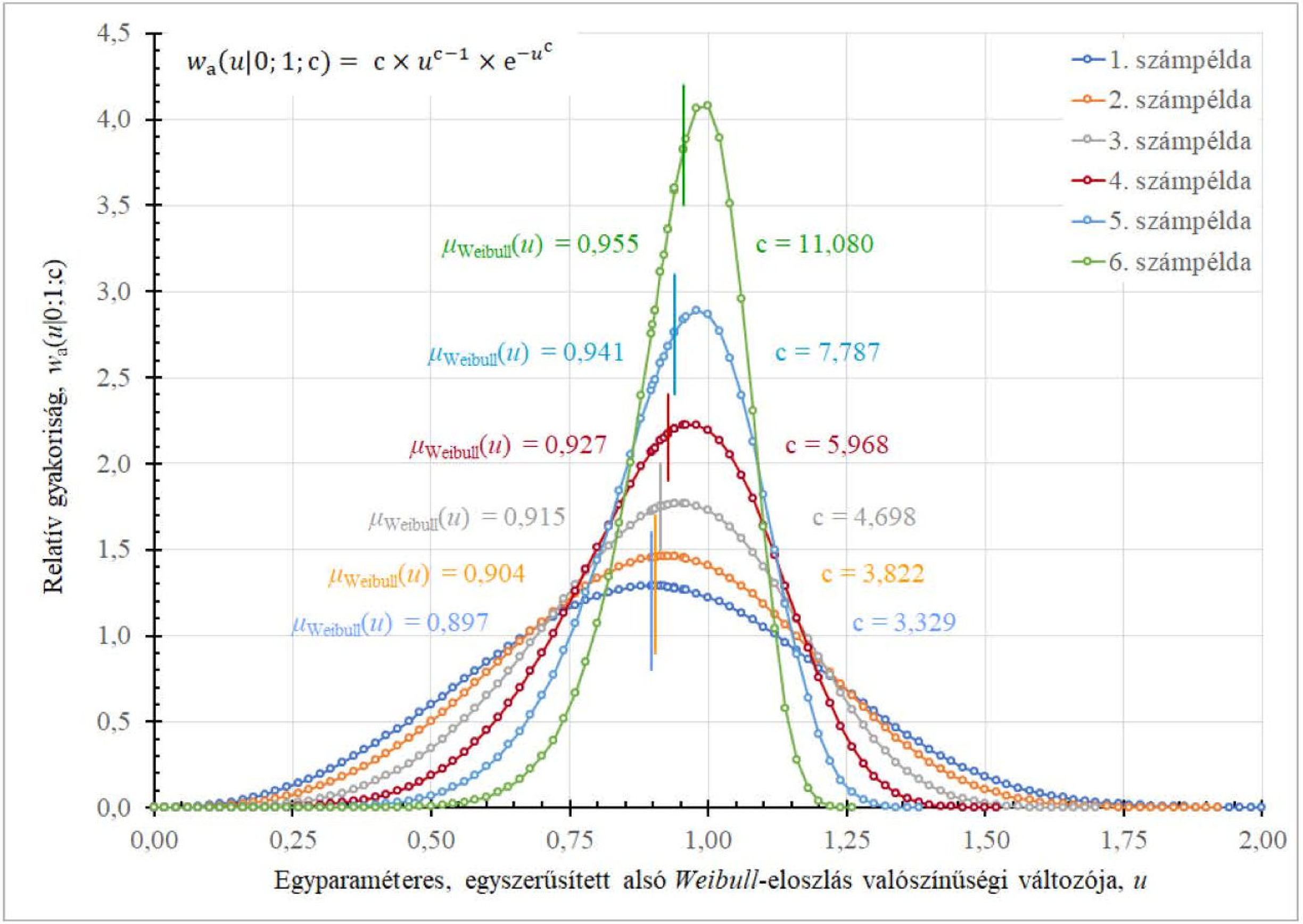


9. ábra: A számpéldák megoldása folyamatának szemléltetése nomogramon

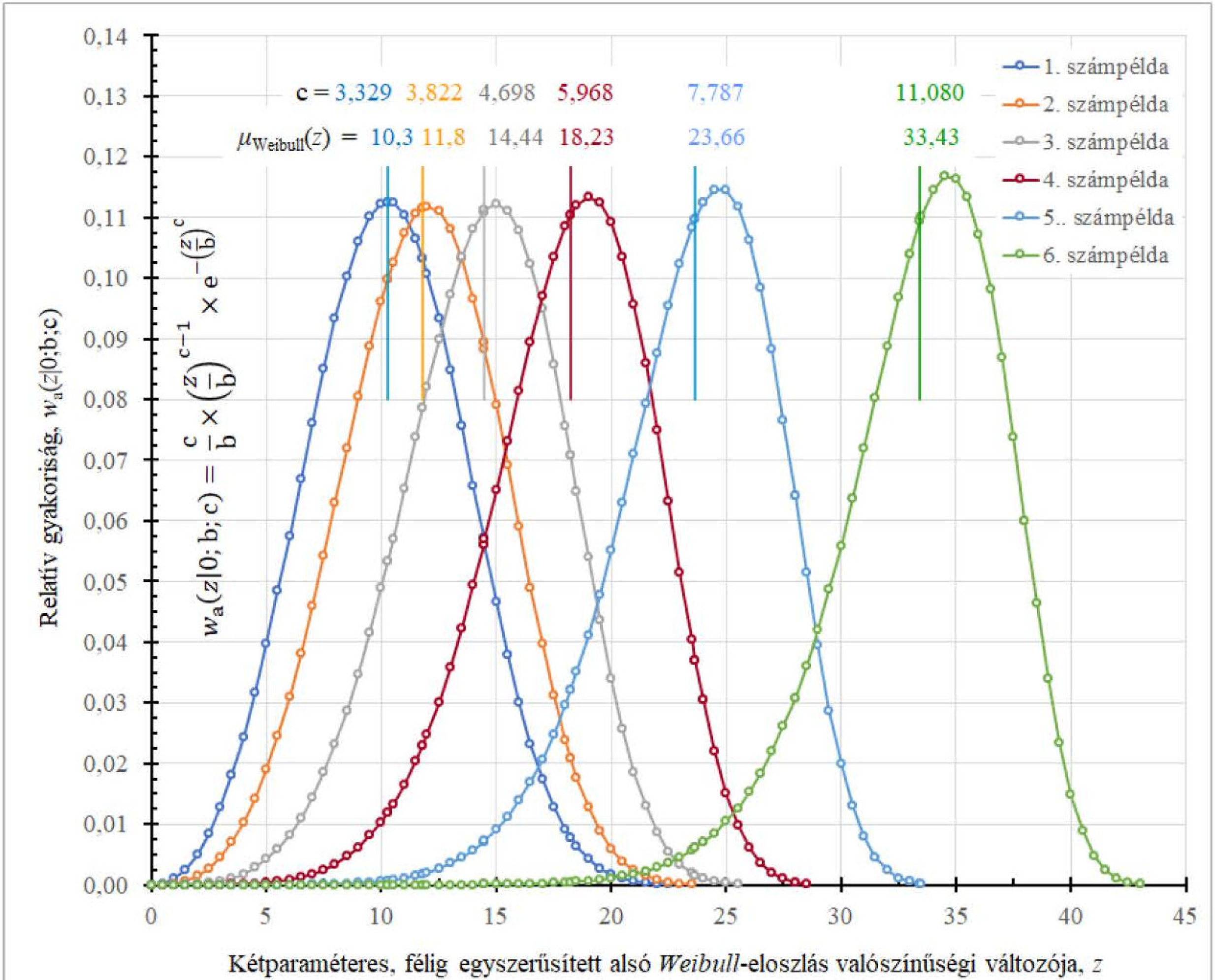
A számpéldák kiszámított adatainak a felhasználásával megrajzoltuk az alsó *Weibull*-eloszlás egyparaméteres, általánosított (GEV, Generalized extreme value distribution) sűrűségfüggvényének (*10. ábra*), egyparaméteres, egyszerűsített sűrűségfüggvényének (*11. ábra*), kétparaméteres, félig egyszerűsített sűrűségfüggvényének (*12. ábra*), továbbá az alsó *Weibull*-eloszlású beton-nyomószilárdság háromparaméteres sűrűségfüggvényének (*13. ábra*) és háromparaméteres eloszlásfüggvényének görbéit (*14. ábra*).



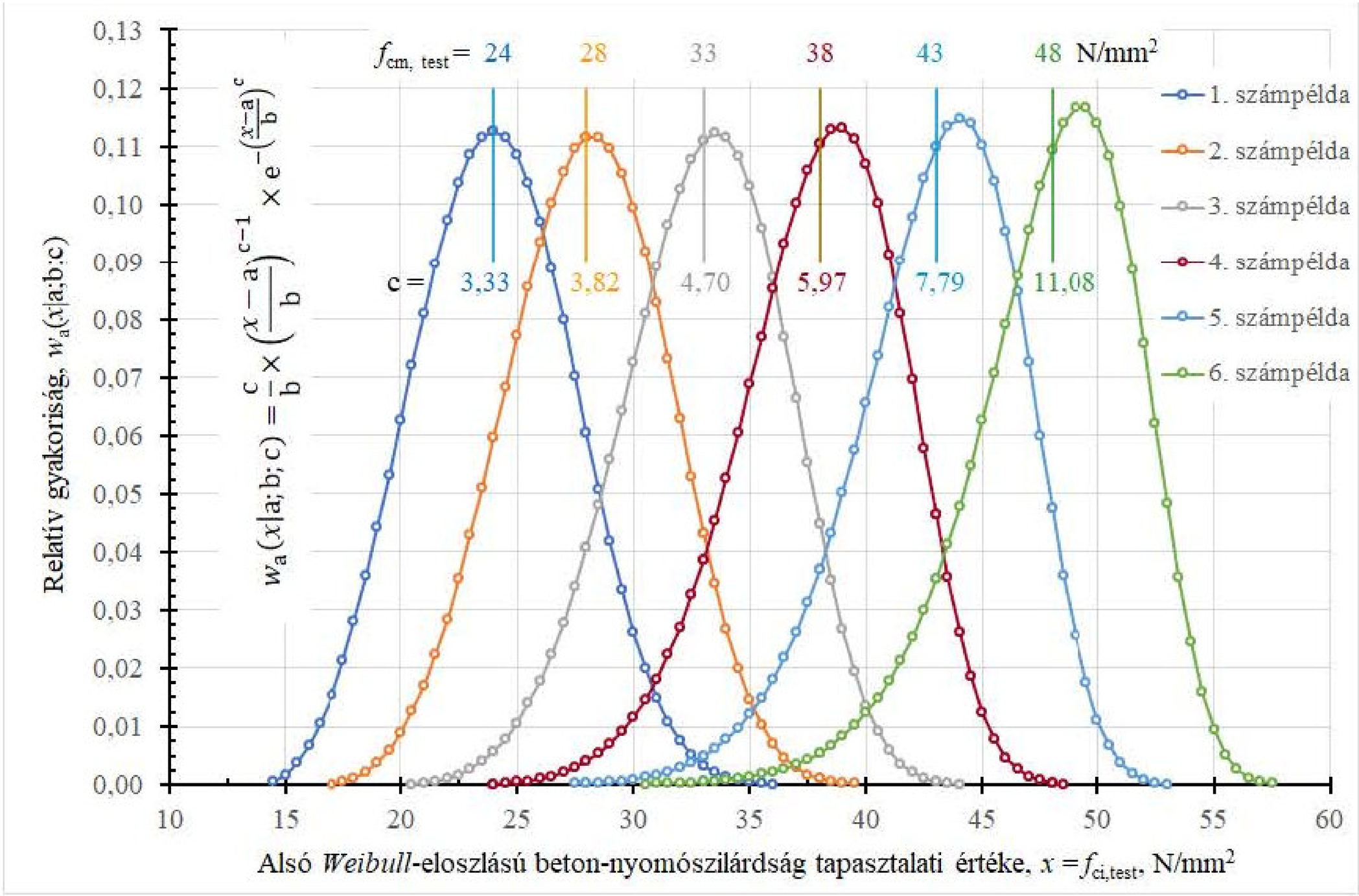
10. ábra: A számpélda-megoldás első lépésének diagramjai. Az alsó *Weibull*-eloszlás egyparaméteres, általánosított (GEV) sűrűségfüggvényének görbéi



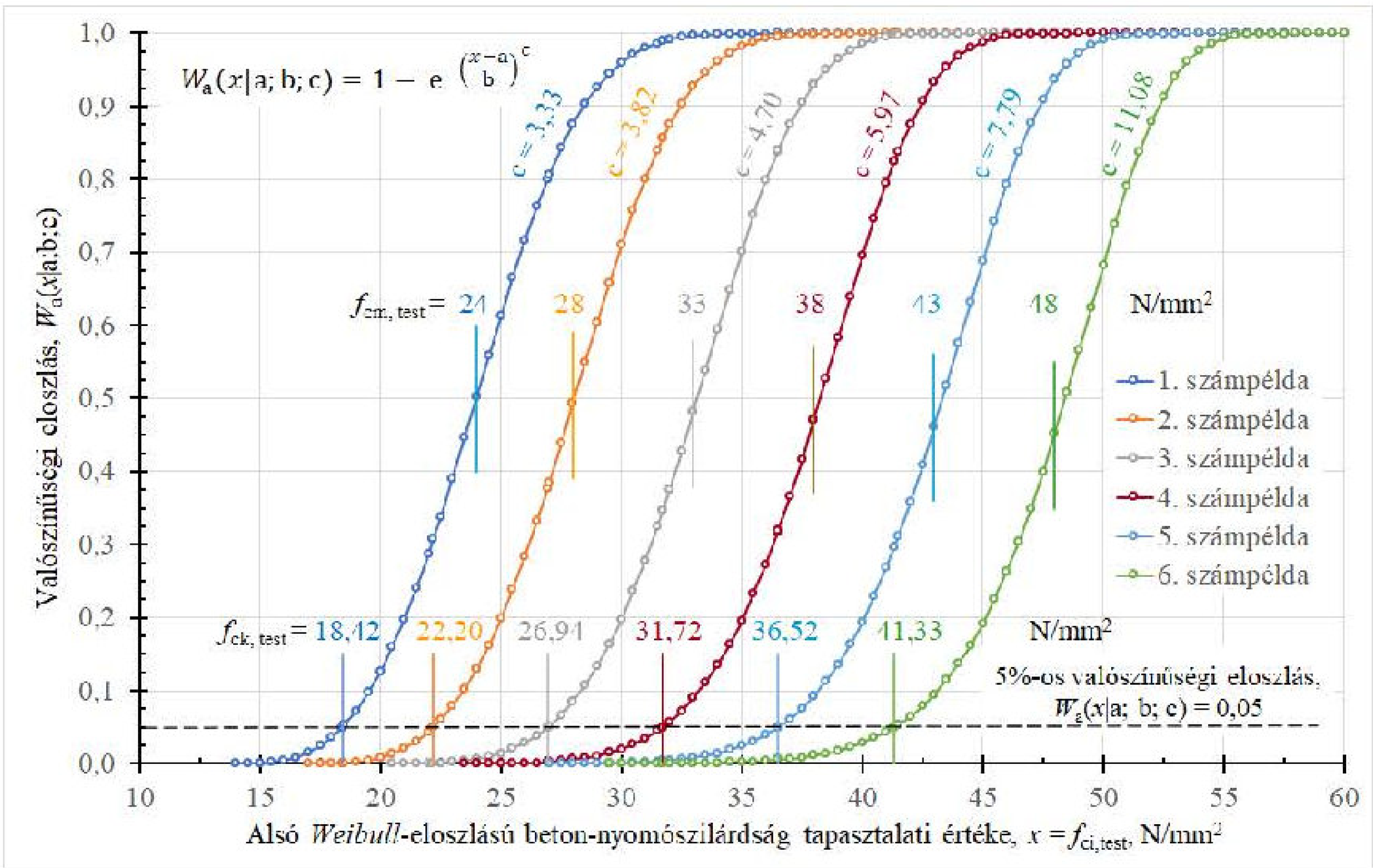
11. ábra: A számpélda-megoldás első lépésének diagramjai. Az alsó *Weibull*-eloszlás egyparaméteres, egyszerűsített sűrűségfüggvényének görbéi



12. ábra: A számpélda-megoldás második lépésének diagramjai. Az alsó *Weibull*-eloszlás kétparaméteres, félig egyszerűsített sűrűségfüggvényének görbéi



13. ábra: A számpélda-megoldás harmadik lépésének diagramjai. Az alsó *Weibull*-eloszlású beton-nyomószilárdság háromparaméteres sűrűségfüggvényének görbéi



14. ábra: A számpélda-megoldás harmadik lépésének diagramjai. Az alsó *Weibull*-eloszlású beton-nyomószilárdság háromparaméteres eloszlásfüggvényének görbéi

A *14. ábrán* a számpéldák alsó *Weibull*-eloszlású beton-nyomószilárdságának 5%-os tapasztalati jellemző értékét (karakterisztikus értékét) is feltüntettük. A nyomószilárdság tapasztalati alulmaradási tágassága a tapasztalati átlag ($f_{cm,test}$) és a tapasztalati jellemző érték ($f_{ck,test}$) különbsége ($f_{cm,test} - f_{ck,test}$), amelynek értéke számpéldáinkban az 5,5 N/mm^2 értéket, az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány szerinti, legalább C25/30 nyomószilárdsági osztályokban a 6 N/mm^2 értéket meghaladja (*2. táblázat*).

Ha a vizsgált próbatestek n számát is figyelembe vesszük, akkor az alulmaradási tágasság a t_n/1,645 hányadossal megszorzandó, ahol t_n *a Student*-tényező értéke (MSZ 4798:2016), (*Federighi,* 1959), (*Stange* et al., 1966), és amely hányados értéke például n = 3 próbatest esetén 2,92/1,645 = 1,775, vagy n = 5 próbatest esetén 2,132/1,645 = 1,296, vagy n = 15 esetén 1,761/1,645 = 1,071, vagy n = 35 esetén 1,691/1,645 = 1,028.

5. Megállapítás

A *2. táblázat* utolsó előtti sora alapján megállapíthatjuk, hogy a beton – a maga valóságában ferde eloszlású – nyomószilárdságának az alsó *Weibull*-eloszlással számított alulmaradási tágassága sokkal nagyobb, mint az MSZ EN 206:2013+A2:2021 szabvány kezdeti gyártásra vonatkozó 8.2.1.3.2./„A módszer” szakasza szerinti 4 N/mm^2, illetve folyamatos gyártásra vonatkozó 8.2.1.3.2./„B módszer” szakasza szerinti 1,48×σ_{test} N/mm^2 érték.

Ebből is következik, hogy az MSZ EN 206:2013+A2:2021 betonszabvány és az ezt követő MSZ4798:2016 magyar termékszabvány szerinti, valamely adott jelű (például C40/50) beton valójában kisebb átlagos nyomószilárdságú – amely átlagos nyomószilárdság a betonösszetétel tervezésének alapja –, mint amekkora átlagos nyomószilárdságot az Eurocode (MSZ EN 1990:2011) és az Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2010, MSZ EN 1992-2:2009, MSZ EN 1992-3:2011) tervezési szabványokban az ugyanilyen betonjelhez tartozóan számításba vesznek. (http://www.betonopus.hu/notesz/ac50-ajanlas.pdf), (*Kausay*, 2006), (*Kausay* et al., 2007)

Ez az alulmaradási tényezőkben egyébként is meglévő kedvezőtlen különbség (például 1,48 használata az 1,645 helyett) a nagyobb nyomószilárdságú betonok esetén a valóságban még egyre tovább növekszik, miként azt a betonszilárdságok valóságos ferdeségét követő *Weibull*-eloszlással e dolgozatban kimutattuk.

A beton-nyomószilárdság vizsgálati eredményeinek értékelése az aszimmetriát jól kifejező alsó *Weibull*-eloszlással a beton- és vasbetonszerkezeteink biztonságát és tartósságát szolgálná; hasonlóképpen ahhoz, ahogy azt eleink 24 éven át az alulmaradási tágasságot kifejező k×t_n×s szorzatban lévő – a nyomószilárdság átlagától függő – k ferdeségi tényezőnek a 2004-ben visszavont MSZ 4720-2:1980 szabványban való alkalmazásával szolgálták.

Mindent egybevetve megállapíthatjuk, hogy az alsó *Weibull*-eloszlás kiváló eszköz a beton nyomószilárdsága jellemző értékének (karakterisztikus értékének) – az egyedi nyomószilárdság vizsgálati eredmények eloszlásának ferdeségét figyelembe vevő – meghatározására.

HIVATKOZOTT SZABVÁNYOK

DIN 1055-100:2001	Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung. Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln. Visszavont szabvány
MSZ EN 206:2013+A2:2021	Beton. Műszaki követelmények, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség
MSZ EN 1990:2011	Eurocode: A tartószerkezetek tervezésének alapjai. Módosították: MSZ EN 1990:2002/A1:2008 jel alatt
MSZ EN 1992-1-1:2010	Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok. Módosították: MSZ EN 1992-1-1:2004/A1:2016 jel alatt
MSZ EN 1992-2:2009	Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 2. rész: Betonhidak. Tervezési és szerkesztési szabályok
MSZ EN 1992-3:2011	Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 3. rész: Folyadéktartályok és tárolószerkezetek
MSZ 4720-2:1980	A beton minőségének ellenőrzése. 2. rész: Általános tulajdonságok ellenőrzése. Visszavont szabvány
MSZ 4798:2016	Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelőség, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon. Módosították: MSZ 4798:2016/1M:2017 és MSZ 4798:2016/2M:2018 jel alatt

FELHASZNÁLT IRODALOM

Braml, Th.: Zur Beurteilung der Zuverlässigkeit von Massivbrücken auf der Grundlage der Ergebnisse von Überprüfungen am Bauwerk. Dissertation. Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität der Bundeswehr München. München, 2010.

Federighi, E. T.: Extended tables of the percentage points of Student's *t*-distribution. Journal of the American Statistical Association. Vol. 54. 1959. pp. 683-688.

Hartung, J. – Elpelt, B. – Klösener, K.-H.: Statistik. Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH. München, 2009.

Kausay T.: A beton nyomószilárdságának elfogadása. Vasbetonépítés. VIII. évfolyam. 2006. 2. szám, pp. 35-44. http://fib.bme.hu/folyoirat/vb/vb2006_2.pdf

Kausay T. – Simon T. K.: Acceptance of concrete compressive strength. Concrete Structures. Vol. 8. 2007. No. 4., pp. 54-63. http://www.betonopus.hu/some/acceptance.pdf

Mistéth E.: Erőtani méretezés valószínűségelméleti alapon. Építésügyi Minőségellenőrző Intézet kiadványsorozata. 23. szám. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1974.

Mistéth E.: Építőanyagok küszöbszilárdságának valószínűségi sűrűségfüggvénye. Kézirat. Építéstudományi Intézet. Budapest, 1977.

Mistéth E.: A keresztmetszeti mennyiség valószínűségelméleti alapon való meghatározása. Vasbetonépítés. 2. évfolyam. 2000. 4. szám, pp. 106-111.

Mistéth E.: Méretezéselmélet. Akadémiai Kiadó. Budapest, 2001.

Palotás L.: Mérnöki szerkezetek anyagtana 1. Általános anyagismeret. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.

Rinne, H.: The Weibull Distribution. A Handbook. CRC Press. Boca Raton (Florida). London, New York, 2009.

Stange, K. – Henning, H.-J.: Graf/Henning/Stange. Formeln und Tabellen der mathematischen Statistik. Springer-Verlag. Berlin/Heidelberg/New York, 1966.

Ujhelyi J.: A betonok szilárdsági szórásának és a szilárdság valószínű eloszlásának a vizsgálata. Kézirat. Az Építéstudományi Intézet kutatási jelentése. Budapest, 1978. http://www.betonopus.hu/notesz/ujhelyi/13-ujhelyi-1978-szoras.pdf

Ujhelyi J.: Betontechnológia I. Vízépítési segédletek. Vízdok. Budapest, 1985. http://www.betonopus.hu/notesz/ujhelyi/14-ujhelyi-1985-vizepitesi-segedlet.pdf

Weibull, E. H. W.: A Statistical Theory of the Strength of Material. Ingeniars Vetenskaps Akademiens Handligar. No. 151. Royal Swedish Institute for Engineering Research. Stockholm, 1939./a.

Weibull, E. H. W.: The Phenomenon of Rupture in Solids. Ingeniars Vetenskaps Akademiens Handligar. No. 153. Royal Swedish Institute for Engineering Research. Stockholm, 1939./b.

Weibull, E. H. W.: A Statistical Distribution Function of Wide Application. Journal of Applied Mechanics. 18. 1951. p. 293-297.

Weibull, E. H. W.: A Statistical Distribution Function of Wide Application. Journal of Applied Mechanics. Vol. 19. 1952. p. 233-234.

Weibull, E. H. W.: References on Weibull Distribution, FTLA Report. Forsvarets Teletekniska Laboratorium. Stockholm, 1977.

MEGJEGYZÉS:

- Az extrémérték-eloszlásról (extremális-eloszlásról) és a *Weibull*-eloszlásról részletesebben az elektronikus Betonos[e]könyv lapjain lehet olvasni: http://www.betonos-e-konyv.hu/book.php?pdf=betekon-101-6-4.pdf&fb3d-page=1

- A dolgozat angol nyelvű változata megjelent a *fib* Nemzetközi Betonszövetség Magyar Tagozata „Concrete Structures” című folyóirata 2022. évi számának (23. évfolyam) 11-22. oldalán: http://fib.bme.hu/folyoirat/cs/cs2022/cs2022_3.pdf, (https://doi.org/10.32970/CS.2022.1.3)

KLORIDTARTALMÚ VÍZZEL TARTÓSAN ÉRINTKEZŐ VASBETON SZERKEZETEK BETONJÁNAK XD2 KÖRNYEZETI OSZTÁLYBA SOROLÁSA

Bevezetés

A kloridok a sósav (HCl) sóinak negatív töltésű ionjai. A sósav legfontosabb sói a nátrium-klorid (NaCl), a kalcium-klorid ($CaCl_2$) és a magnézium-klorid ($MgCl_2$). A kloridok talajvízből, gyógyvízből, téli olvasztósóból, ipari és mezőgazdasági anyagokból, tengervízből, levegőből (például tengeri levegőből vagy PVC égéstermékből) stb. kerülhetnek a betonba, illetve vasbetonba (*Biczók*, 1960; *Springenschmid*, 2007).

> Az északi-tenger sótartalma 3% (30000 mg/liter), a Balti-tengeré 0,06-0,15% (brakkvíz vagy félsós víz, 600-1500 mg/liter), a Földközi-tengeré 3,7% (37000 mg/liter), az Atlanti-óceáné 3,5% (35000 mg/liter), a holt-tengeré 30% (300000 mg/liter).
>
> Európában vannak sós vizű fürdők, amelyeknek nagyon nagy, 10000 – 65000 mg/liter a kloridtartalma, általában a hőmérséklete is. Ilyen esetekben általában vízzáró réteggel szokták ellátni a vasbetont, vagy esetleg nagyon nagy betonfedést alkalmaznak, mert az MSZ EN 206:2014 szabvány szerinti XD vagy XS környezeti osztály követelményeinek teljesítése nem elegendő. A megoldást esetenként kell kidolgozni.
>
> A nyíregyházi Sóstó 36-40 °C hőmérsékletű termálvizének kloridion-tartalma 1460 mg/liter (http://www.sostort.hu/hu/Gyogyvizunkrol).
>
> Az édesvizek oldott szervetlen anyag tartalma ≤ 500 mg/liter, sótartalma ≤ 400 mg/liter. A brakkvíz sótartalma 500-30000 mg/liter, a sós víz sótartalma 30000-50000 mg/liter, a telített sós víz sótartalma > 50000 mg/liter.
>
> Az uszodák vizének kloridtartalma (a sós vagy tengeri vizű fürdők kivételével, és a tisztítószerek stb. hatását nem számítva) általában 200-400 mg/liter.
>
> Az ivóvíz kloridtartalmának határéke a 201/2001.(X.25.) Korm. rendeletben 250 mg/liter.

A betonra a természetes vizek kloridjai kémiailag általában nem veszélyesek. Ennek ellenére a vizeknek 1500 mg/liter kloridtartalom felett, gyakori nedvesség-tartalom változás esetén már ez alatt is, gyenge korróziós hatása van (*Grübl* et al., 2001).

A betonacél korróziójához oxigénre és vízre van szükség. A kloridok korrozív hatása a vasbeton szerkezeteket illetően abban áll, hogy a kloridok a betonacél elektrokémiai korrózióját felgyorsítják, mert a kloridionokat tartalmazó víz – mint elektrolit-oldat – az áramot a „tiszta" víznél jobban vezeti (*Benedix*, 2008).

A tengervíz nagy magnézium- és szulfáttartalmánál fogva veszélyesebb a beton, illetve vasbeton szerkezetek korróziója szempontjából, mint a szárazföldi, azaz „nem tengervizek". Ezért az MSZ EN 206:2016 európai betonszabványban a tengervízzel és a szárazföldi vizekkel, azok párájával érintkező, kloridok hatásának kitett betonokat, illetve vasbeton szerkezeteket külön környezeti osztályokba sorolják; az előbbiek környezeti feltételeit az XS környezeti osztályokban, az utóbbiak környezeti feltételeit az XD környezeti osztályokban tárgyalják.

Az MSZ EN 206:2014 és MSZ 4798:2016 betonszabvány szerint a nem tengervízből származó kloridok okozta acélkorrózió kockázata esetén a vasbeton betonját

- ha a környezet mérsékelten nedves (például sópárával érintkező betonok esete), akkor XD1;

- ha a környezet nedves, ritkán száraz (például úszómedencék, kloridtartalmú talajvízzel vagy ipari vízzel érintkező betonok esete), akkor XD2;
- ha a környezet váltakozva nedves és száraz (például kloridtartalmú vízpermettel érintkező hídelemek, járdák és útburkolatok, autóparkolók födémeinek esete), akkor XD3

környezeti osztályba kell sorolni.

A kloridtartalmú vízzel tartósan érintkező vasbetonok betonjai az XD2 környezeti osztályba sorolandók, általában az MSZ 4798:2016 szabvány szerinti XA1 – XA3 (természetes talajok és talajvizek) vagy XA4(H) – XA6(H) (agresszív szennyvizek és egyéb folyadékok) környezeti osztályok valamelyikével társított környezeti osztály formájában. A 2016. április 1-jén megjelent MSZ 4798:2016 szabványban mind az XA1 – XA3, mind az XA4(H) – XA6(H) környezeti osztályokba sorolás kémiai feltételei megtalálhatók, az XD2 környezeti osztályba sorolás kémiai feltételéről azonban nem esik szó, holott annak megfogalmazására és egységes betontechnológiai alkalmazására feltétlen szükség van.

Ezért a kloridtartalom határértékével szabályozni kell, hogy a talajvízzel, szennyvízzel stb. tartósan érintkező vasbeton betonját mikor kell az XD2 környezeti osztályba sorolni, az XD2 környezeti osztályú betont milyen cementtel kell készíteni, mi a teendő, ha a talajvíz, szennyvíz stb. egyidejűleg szulfátos is.

E dolgozatban

- áttekintjük, hogy a kloridtartalmú víz miért jelent veszélyt a megszilárdult vasbetonra, ha azt tartósan veszi körül;
- megfogalmazzuk az XD2 környezeti osztályba sorolás kémiai feltételeit;
- javaslatot teszünk a cement-, illetve kötőanyag-követelményekre.

Acélbetét korróziójának elektrokémiai magyarázata.
Irodalmi áttekintés

Fogalom-meghatározások:

Diffúzió: A diffúzió anyagtranszport folyamat, az anyag építőelemeinek – az elektronoknak, az ionoknak, az atomoknak, a molekuláknak és a kolloid részecskéknek – a nagy kémiai potenciálú helyekről a kis kémiai potenciálú helyekre való áramlása. A diffúziós mérésnek nevezett eljárás során a diffúziós együtthatót a kloridtartalmú oldatot és a kloridmentes oldatot elválasztó beton próbatestben kialakuló ionáram következtében kialakuló oldat-koncentráció-különbségből határozzák meg (*Dahme*, 2006).

Migráció: A migráció az ionok mozgása az elektrolitokban elektromos tér hatására. Migráció mérésén alapul a göteborgi *Chalmers University of Technology* által kidolgozott skandináv „NT Build 492" *gyors módszer* a diffúziós együttható meghatározására (2000), amelyet a német *Bundesanstalt für Wasserbau* (2004) foglalt műszaki irányelvbe. (NT = Nord Test). Jónak a $D_{nssm} \leq 8 \cdot 10^{-12}$ m^2/s migrációs együttható értékeket szokták tartani.

Az ionok mozgását (transzportját) hajtó erő más a *diffúziós mérés*, és más a *migrációs mérés* esetében. A hajtóerő a *diffúziós mérés* esetén a Cl koncentrációs gradiens, a *migrációs mérés* esetén viszont az elektromos erőtér, amely erőtér a cementkő klorid-megkötő képességét befolyásolja. Ebből adódik, hogy a D_{nssm} *migrációs* együttható értéke hasonló a D_{nssd} *diffúziós* együttható értékéhez (**n**on-**s**teady-**s**tate = nem állandó

áramláson mért migráció, illetve diffúzió). Ennek tudható be, hogy a diffúziós és a migrációs tényezőt sokszor nem különböztetik meg, hanem a hajtóerő miben létének figyelmen kívül hagyásával mind a két vizsgálati módszer esetén diffúziós tényezőről beszélnek.

A kloridtartalmú vízzel érintkező megszilárdult betonba a kloridionok főképp kapilláris vízfelszívással (Huckepack-Transport) vagy kloridkoncentráció-különbség okozta diffúzió következtében kerülhetnek. A kloridion-behatolás a kapilláris vízfelszívással nagyságrenddel nagyobb és gyorsabb, mint a diffúzióval (*Grübl* et al., 2001; *Springenschmid*, 2007).

Téli időszakban a mikro-jéglencsék fagyási-olvadási ciklusokkal járó térfogatátváltozása is kloridionokat juttathat a gélpórusvízbe (Mikroeislinsenpumpe). A klorid-behatolás jelenségét leíró numerikus modellek feltételezik, hogy a tartósan klorid-oldattal érintkező betonokba a kloridionok kizárólag diffúzió útján jutnak (*Dahme*, 2006).

A beton cementköve, ha nem karbonátosodott, akkor a betonba jutó kloridionok egy részét kémiailag és fizikailag stabil vegyület, kalcium-kloroaluminát vagy kalcium-kloroaluminát-ferrit (Friedel-só = $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot H_{10}$, illetve Friedel-só vasanalógja = $C_3A/F \cdot CaCl_2 \cdot H_{10}$) formájában megköti (*Dahme*, 2006; *Benedix*, 2008). A kloridionoknak ez a kötött formája a C_3A (trikalcium-aluminát, felit), illetve a C_4AF (tetrakalcium-aluminát-ferrit, celit) klinkerásványok és a kloridionok közötti reakció során jön létre, ha az oldat klorid-tartalma nem több, mint 10000 mg/liter (*Stark – Wicht*, 2013).

A Friedel-só formájában kémiailag kötött kloridionok egy része a beton karbonátosodása során szabad kloridion formába kerülhet, mert a Friedel-só ilyen körülmények között kevésbé stabil. A kloridion megkötés feltétele az aluminátok jelenléte, vagy más olyan forrás a cementben (mint például a cementben lévő kohósalak), amelynek az Al-tartalma ehhez hozzá tud járulni.

Amíg a cementkőben kémiailag megkötött kloridok veszélytelenek, addig a pórusvízben lévő szabad kloridionok acélbetét korróziót okozhatnak. Az acélbetét korrózió akkor lép fel, ha az acélbetét felületének környezetében a beton pórusvizének pH-értéke 9 alá esik, vagy ha a beton klorid-tartalma a kritikus értéket átlépi, mert akkor az acélbetét elveszti a korróziótól védő mikroszkopikus vastagságú tömör oxigén rétegét, amelyet passzív rétegnek neveznek (*Palotás*, 1979; *Balázs – Erdélyi – Kovács*, 1991; *Balázs*, 1997).

Kloridkorrózió esetén a vas ionos formában oldódik:

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2 \cdot e^{-}$$

A folyamat elektron leadással jár, tehát oxidáció, a vas oxidálódik. Az oxidációs folyamatokat az elektrokémiában anódos folyamatnak nevezik. Az anódos folyamat nem csak kloridok hatására, hanem levegő vagy hosszú idejű vízátszivárgás hatására végbemenő karbonátosodás folytán is létre jöhet.

A karbonátosodás azonban nem elektrokémiai lyukkorrózióra, hanem egyenletes kémiai acélbetét korrózióra vezet. A karbonátosodás hatására, amelynek kémiai egyenlete (*Benedix*, 2008): $Ca(OH)_2 + CO_2 + H_2O \rightarrow CaCO_3 + H_2O$, a cementkő lúgossága csökken. Ha a megsavanyodott zóna eléri a vasalást, akkor az acélbetét felületén a korábbi nagy pH folytán kialakult passzív védőréteg felbomlik, és megindul az acélbetét korróziója.

A vízzel telített vagy víz alatt lévő beton általában lassan karbonátosodik – hacsak a víz nem szénsavas, savanyú víz, amely 1000 mg/liternél több szabad CO_2-ot tartalmaz –, mert a pórusvíz nagyon megnehezíti a gázalakú szén-dioxid behatolását.

A karbonátosodásnak a hátránya mellett előnye is van: a keletkezett nagytérfogatú, nehezen oldódó kalciumkarbonát csökkenti a cementkő porozitását, és növeli a diffúziós ellenállását (*Fischer*, 2013).

A nem karbonátosodott, alkálikus zónában (pH > 9) a kloridionok az acélbeton felületén lévő passzív védőréteget csak helyenként támadják meg, de ha a karbonátosodás eléri az acélbetétet, akkor az acélbetét egyenletes kémiai korrózióját a kloridok meggyorsítják (*Balázs*, 1997).

Kloridionok jelenléte esetén a kloridionokkal az oldatban ment vasionok sósav (HCl) képződése mellett reakcióba lépnek, miáltal az acélfelület egy pontjának (korróziós pont → pontkorrózió → lyukkorrózió) környezete erősen savassá válik (pH ≤ 5):

$$Fe^{2+} + 2 \cdot Cl^{-} + H_2O \rightarrow Fe(OH)Cl + HCl$$

Az oxidációs (anódos) folyamatot mindig redukció kíséri, mert a képződő elektronokat (e^-) a depolarizátorok (például O_2, H^+-ion, Cl_2) felveszik. A redukciós folyamatokat, amelyek elektron felvétellel járnak, az elektrokémiában katódos folyamatnak nevezik. Az anódos és az katódos folyamat egyidejűleg kell végbemenjen, mert különben a korrózió leáll.

Katódos folyamat az oxigénnek az acélbetét felületén lejátszódó redukciója (*1. ábra*), amelynek során az anódon képződött elektronokat (e^-) a katódon a nagyfelületű oxigénionok kötik le (*Fischer*, 2013):

$$½ \cdot O^{2-} + H_2O + 2 \cdot e^{-} \rightarrow 2 \cdot (OH)^{-}$$

Közben az alacsony pH-érték következtében az anódos korróziós pont közelében is katódos reakció játszódik le, amelynek során a hidrolízissel létrejött protonok (H^+) hidrogén képződése mellett redukálódnak, vasoldódással szabaddá vált elektronokat (e^-) vesznek fel (*Fischer*, 2013):

$$2 \cdot H^{+} + 2 \cdot e^{-} \rightarrow H_2$$

Az egymástól független katódos folyamatok (oxigénes és hidrogénes) hatása összegződik. A vas korróziója, azaz anódos oldódása, az oxigén- és hidrogénionok redukcióján (elektron felvételén) keresztül valósul meg. A katódon filmet képező hidrogén lassítja a korrózió sebességét, ezt a hidrogénfilmet az oxigén-képződés megszakítja, miáltal a korrózió sebessége megnő. Végeredményben véletlen eloszlású mély korróziós pontok, lyukak és a környezetükben nagy kiterjedésű katódos részfelületek alakulnak ki. A katód akár méterekre is lehet az anódos korróziós ponttól, míg az anódos korróziós pontok akár össze is nőhetnek (*2. és 3. ábra*). A vas a katódon nem, csak az anódon korrodál.

Az anódon oldatba ment vasionok a pórusvízben lévő hidroxidionokkal reakcióba lépnek, és ferro-hidroxid azaz vas(II)-hidroxid keletkezik (*1. ábra*):

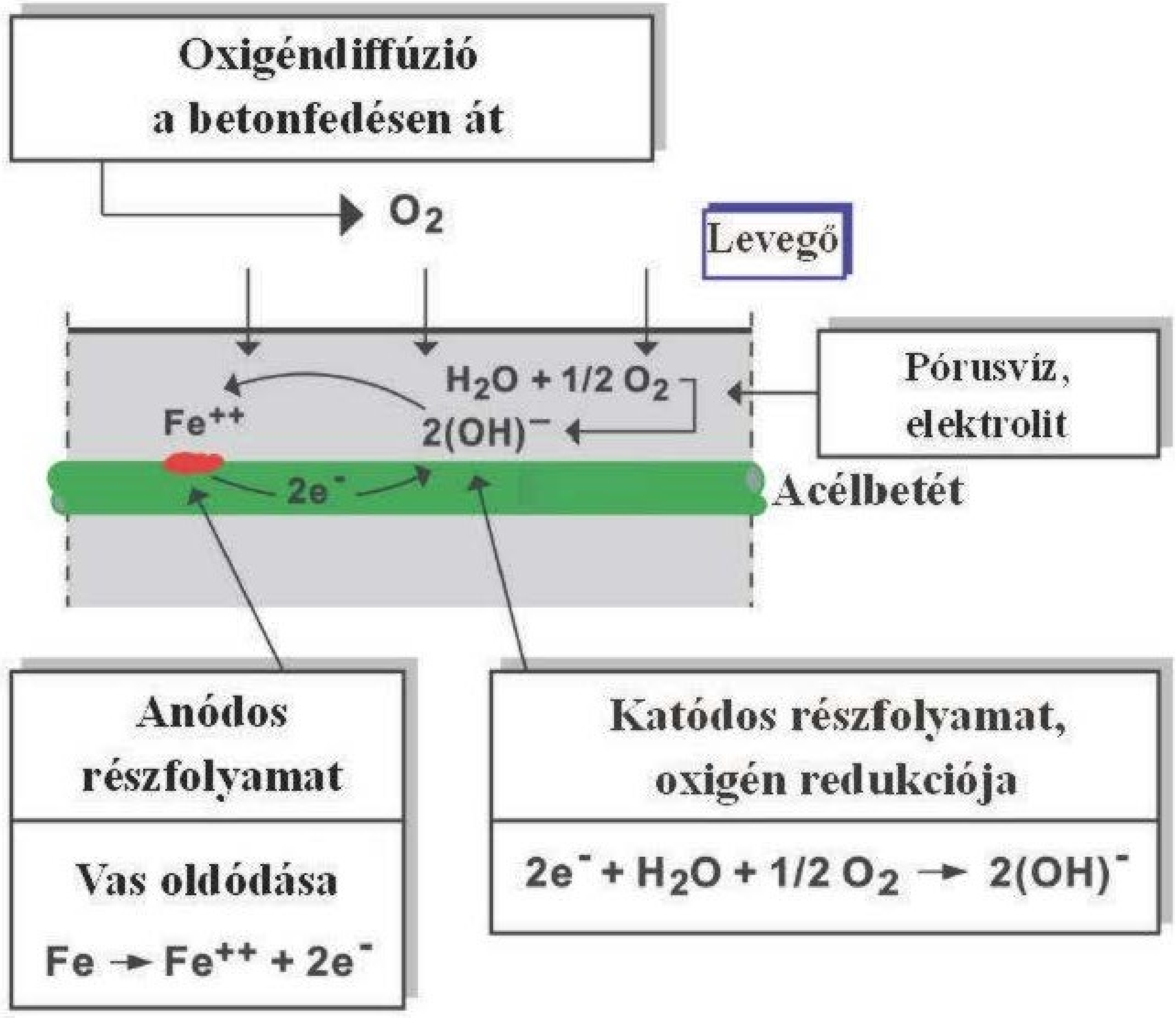
$$Fe^{2+} + 2 \cdot OH^{-} \rightarrow Fe(OH)_2,$$

amely oxidáció következtében ferri-hidroxiddá, azaz vas(III)-hidroxiddá, barna rozsdává ($FeO(OH)$ vagy $Fe(OH)_3 \cdot Fe_2O_3$) alakul:

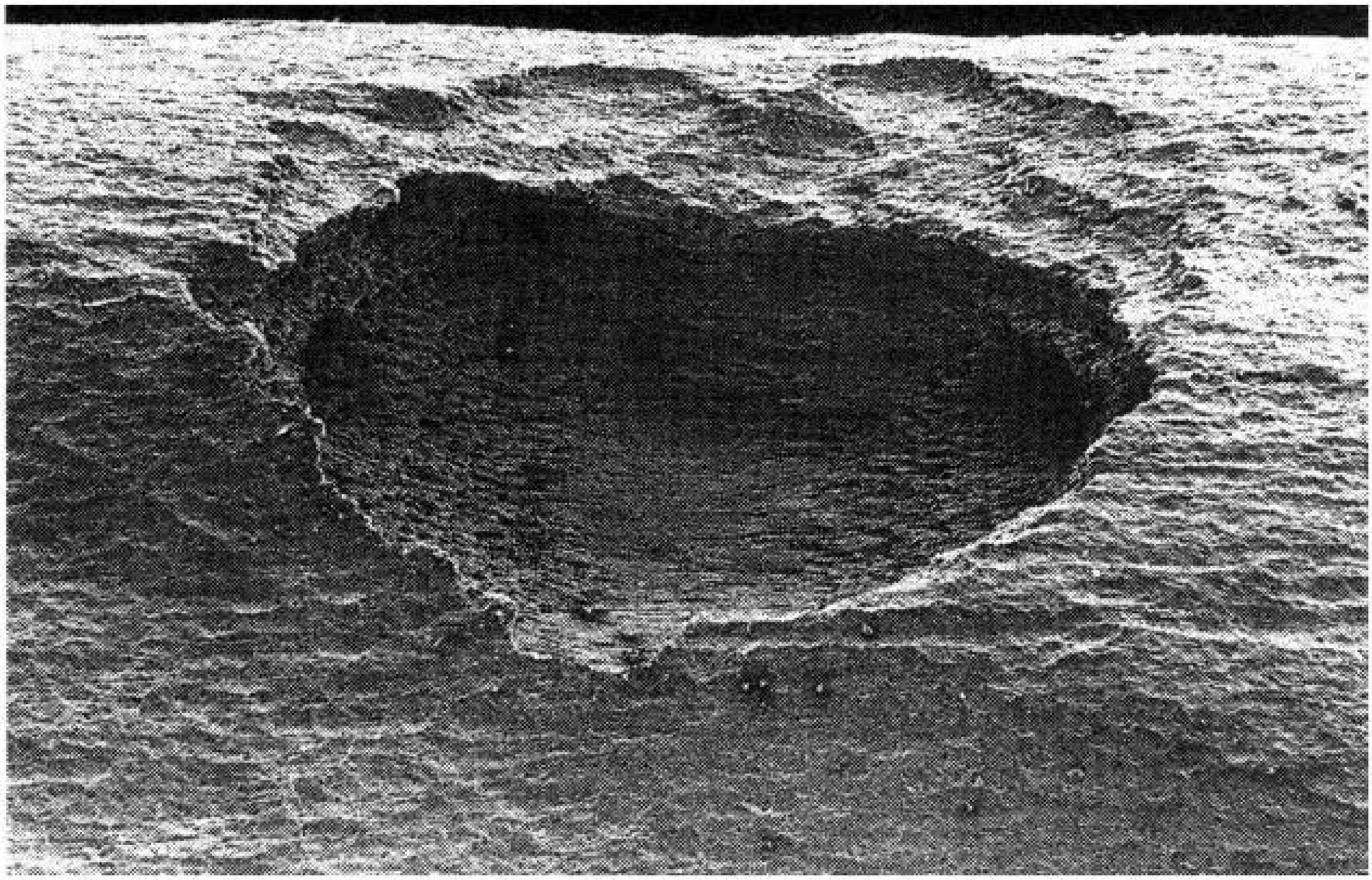
$$4 \cdot Fe(OH)_2 + O_2 \rightarrow 4 \cdot FeO(OH) + 2 \cdot H_2O$$

A rozsda a betonacél felületén rakodik le, de egy része az acélbetétet környező cementkő pórusaiba és a beton repedéseibe – azok tágulását okozva – vándorol (*Fischer*, 2013). A betonacél felületén lerakodó rozsda porózus szerkezetű, és az acélbetét további korrodálódását nem akadályozza meg, térfogata pedig mintegy hatszorosa a vas térfogatának, ezért repesztő hatású.

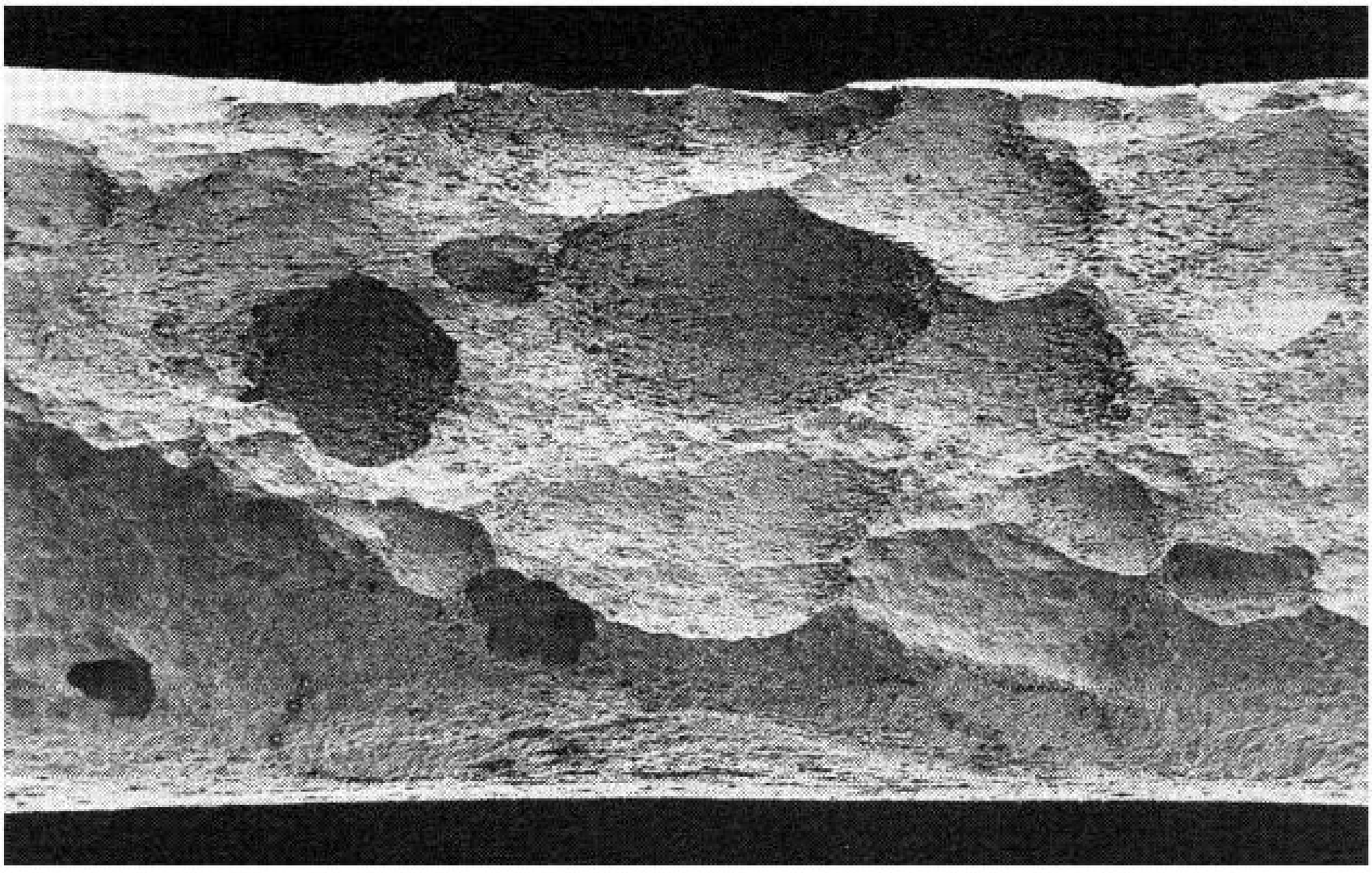
(Megjegyzés: A nemesacélok éppúgy reakcióba lépnek az oxigénnel, mint a normál acélok, miközben oxidréteg képeződik. A rozsdamentes acélok esetén azonban az oxigén nem a vasatomokkal, hanem az acél relatív magas koncentrációban meglévő krómatomjaival lép reakcióba. A króm-, és oxigénatomok egy vastag oxidréteget képeznek, ami megakadályozza a reakció előrehaladását. Ezt az oxidréteget nevezik a környezettel szembeni reakciótehetetlensége miatt passzív rétegnek.)



1. ábra: Acélbetét korróziója. Forrás: *Thienel*, 2011.



2. ábra: Lyukkorrózió elkülönülő korróziós ponttal. Forrás: *Fischer* (2013) *Mürnberger* (1995) után



3. ábra: Lyukkorrózió összenőtt korróziós pontokkal. Forrás: *Fischer* (2013) *Mürnberger* (1995) után

A cementek és kiegészítőanyagok összes klorid és bromid tartalmát kloridionban kifejezve az MSZ EN 196-2:2013 szabvány 4.5.16. szakasza szerint lehet meghatározni.

A kiegészítőanyagok vízoldható halogénion-tartalma (fluor nélkül) az MSZ EN 480-10:2009 szabvány szerint is meghatározható (MSZ 4798:2016).

Az adalékszerek tömegszázalékban kifejezett összes klórtartalmát az MSZ EN ISO 1158:2000, vízoldható halogénion-tartalmát (fluor nélkül) az MSZ EN 480-10:2009 szabvány alapján kell meghatározni.

Németországban az összes klorid-tartalmat a DAfStb (1989) műszaki irányelv szerinti potenciometriás titrálással, vagy közvetlen (direkt) potenciometriával, vagy fotometriával határozzák meg.

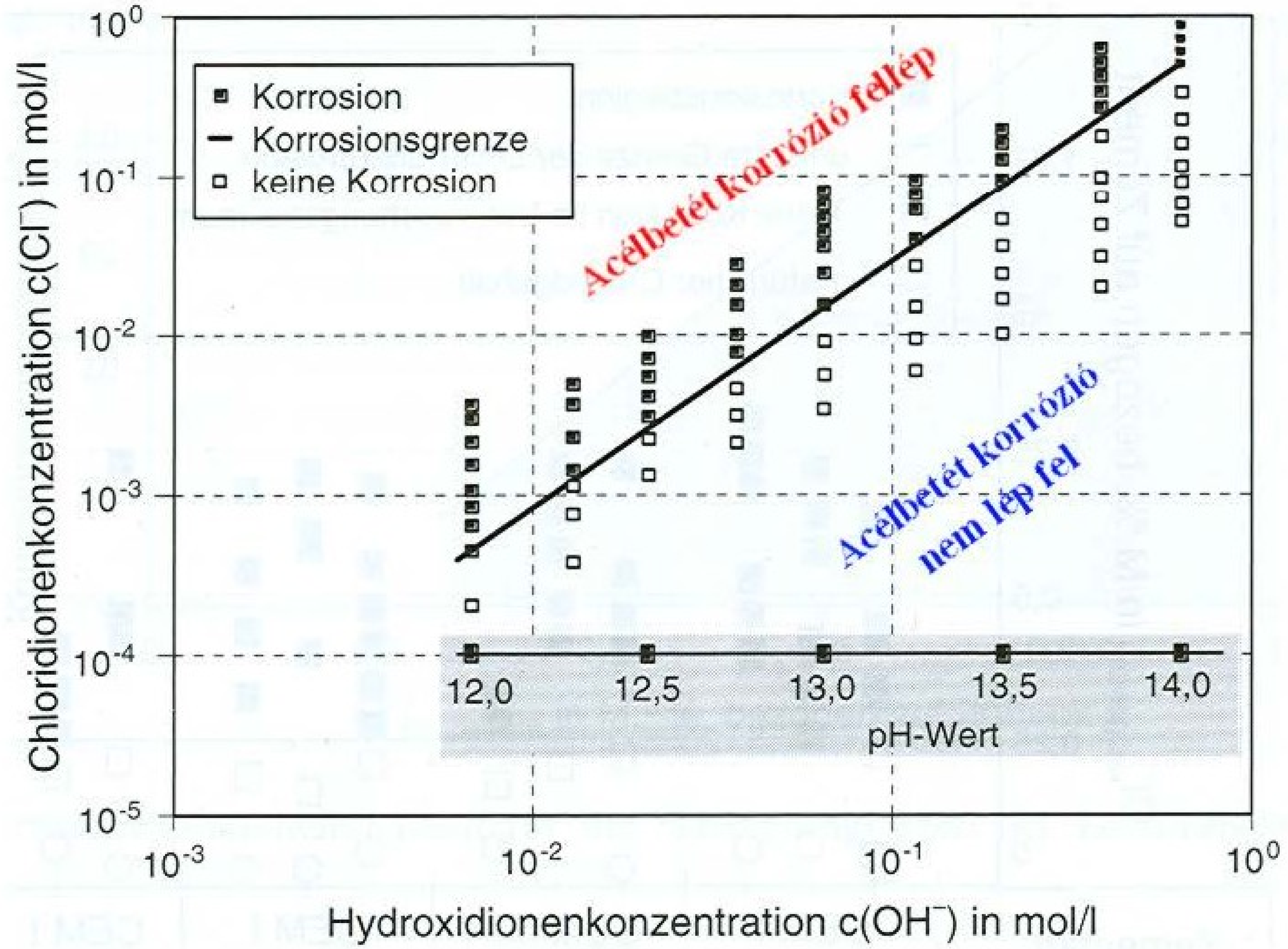
A klorid-tartalom ismerete az acélbetét tényleges korrózióját kiváltó kezdeti, ún. „kritikus klorid-tartalom" megadásához azonban nem elegendő, a „kritikus klorid-tartalom" a pórusvíz kloridion-tartalmával (kloridion-koncentrációjával) a pórusvíz pH-értékének függvényében fejezhető ki (*Stark – Wicht*, 2013). Az acélbetét korrózióját kiváltó kloridion-koncentráció és a hidroxidion-koncentrácó összefüggését *Breit* (1997) a 12-14 pH-tartományra írta fel (*4. ábra*):

$$\log c(Cl^-)_{krit} = 1{,}5 \cdot \log c(OH^-) - 0{,}245$$

ahol:

$c(Cl^-)_{krit}$ acélbetét korrózióját kiváltó kloridion-koncentráció, mol/liter

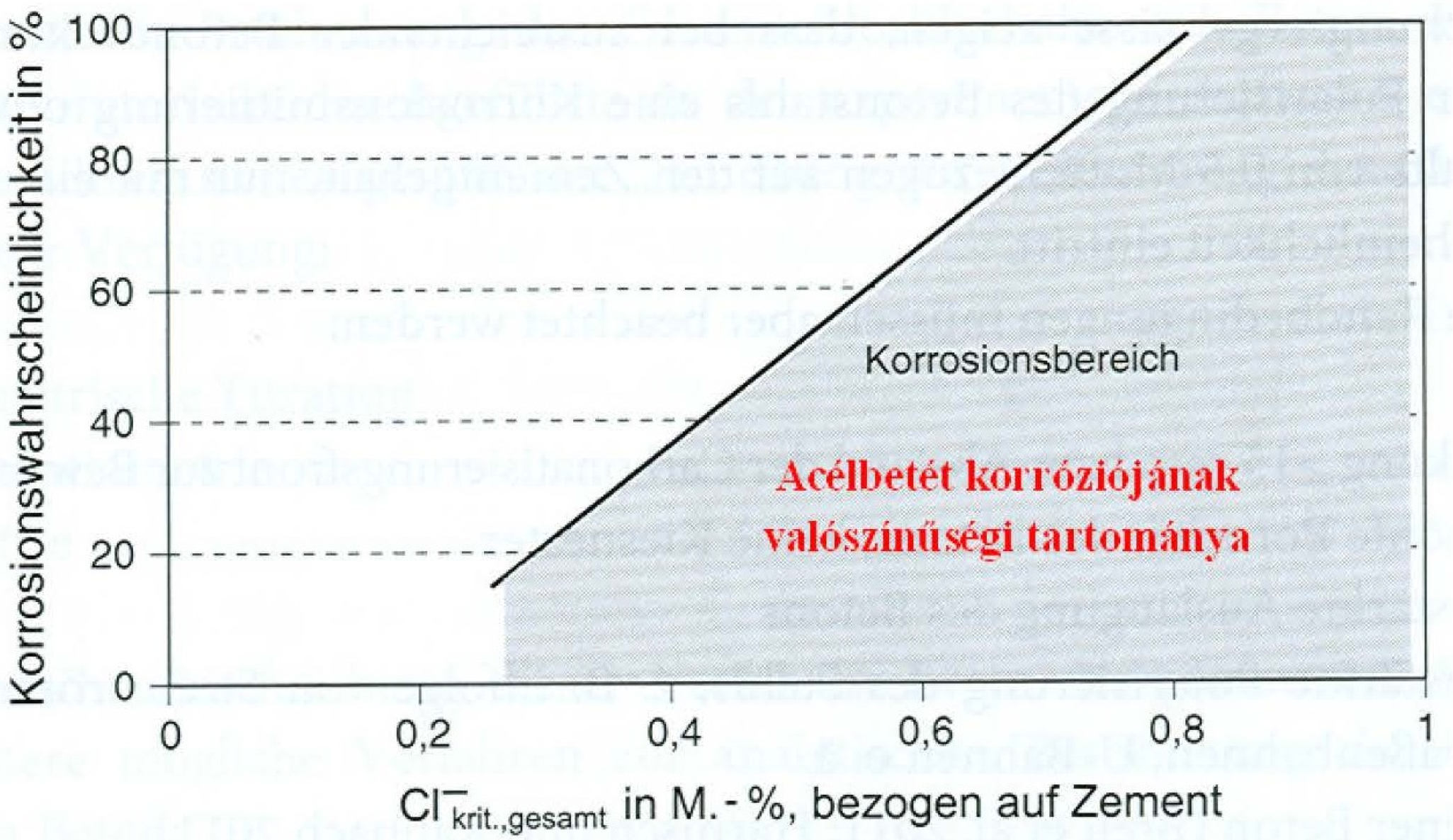
$c(OH^-)$ hidroxidion-koncentráció, mol/liter



4. ábra: Acél kloridkorróziójának (lyukkorróziójának) elektrokémiai vizsgálati eredménye. Az acélbetét korrózióját kiváltó $c(Cl^-)_{krit}$ kloridion-koncentráció a $c(OH^-)$ hidroxidion-koncentráció függvényében (*Breit*, 1997; *Stark – Wicht*, 2013)

A *4. ábrából* kitűnik, hogy a pórusvíz kis pH-értéke (például karbonátosodott beton vagy nagy kiegészítőanyag-tartalom, így nagy szilikapor-tartalom) esetén a „kritikus klorid-tartalom" sokkal kisebb, mint nagy pH-érték esetén.

Breit kísérleteiből arra a következtetésre jutott, hogy az acélbetét (nem a feszítőbetét) korróziójának „kritikus klorid-tartalma" a cement tömegszázalékában kifejezve 0,25 - 0,75 tömeg% közé tehető, és a lyukkorrózió felléptének valószínűsége a cementre vett 0,25 tömeg% klorid-tartalom felett egyre nagyobb (*5. ábra*).



5. ábra: Acélbetét kloridkorróziója (lyukkorróziója) kezdetének, a „kritikus klorid-tartalomnak" a valószínűsége a $Cl^-_{krit,összes}$ kloridion-koncentráció függvényében (*Breit*, 1997; *Stark – Wicht*, 2013)

Betontulajdonságok hatása a klorid-behatolás mértékére

Tapasztalatok szerint a klorid-behatolás általában végértékhez tart, ami ellentmond az időben végtelen diffúziós folyamat elméletének. A klorid-behatolás mélysége (d_{Cl}) a diffúziós együttható (D_{Cl}) és az idő függvénye (*Grübl* et al., 2001):

$$d_{Cl} \sim \sqrt{D_{Cl} \cdot t}$$

A klorid-behatolás végértéke a 20 °C hőmérsékletű nedves levegőn tárolt, tömör betonban a nagy kohósalak-tartalmú kohósalakcementek esetén nem éri el az 50 mm mélységet (*Grübl* et al., 2001).

Stark és *Wicht* (2013) szerint:

- A klorid-behatolás mélysége a feltételektől függően általában a vízfelszívási mélység 40-70%-át éri el.
- A kohósalak- vagy pernye-tartalmú cementek a tiszta portlandcementeknél tömörebb szövetszerkezetet és nagyobb diffúziós ellenállást (kisebb diffúziós együtthatót) eredményeznek (*Springenschmid*, 2007). Különböző irodalmi közlések szerint a beton klorid-diffúziós együtthatójának hozzávetőleges értéke

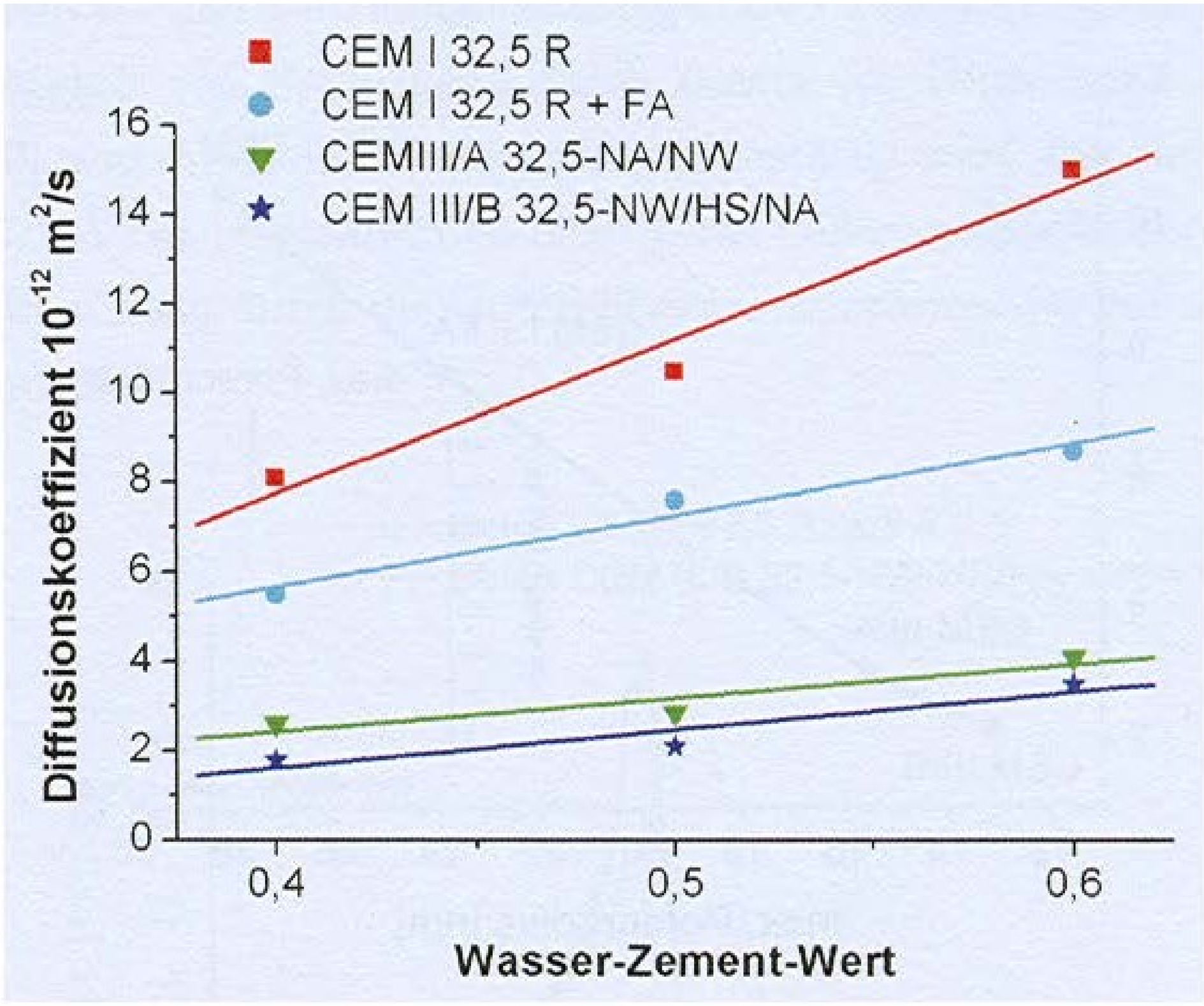
- tiszta portlandcement esetén: $D_{Cl} = 5 \cdot 10^{-11}$ m^2/s
- CEM II/B-S kohósalak-portlandcement esetén: $1{,}5 \cdot 10^{-11}$ m^2/s
- CEM II/B-V pernyeportlandcement esetén: $D_{Cl} = 5 \cdot 10^{-12}$ m^2/s
- CEM III/A kohósalakcement esetén: $2{,}5 \cdot 10^{-12}$ m^2/s
- CEM III/B kohósalakcement esetén: $D_{Cl} = 5 \cdot 10^{-13}$ m^2/s

azaz a heterogén cementek klorid-diffúziós együtthatója a tiszta portlandcement klorid-diffúziós együtthatójának rendre mintegy 0,30-, 0,10-, 0,05-, 0,01-szorosa is lehet. E felsorolásban a sorrend a figyelemre méltó, mert az értékeket és arányokat a víz-cement tényező (*6. ábra*), a pórusszerkezet, a karbonátosodás mértéke, a sófajta, a vizsgálati módszer stb. jelentősen befolyásolja.

Például *Dahme* (2006) $x = 0{,}5$ víz-cement tényezővel, 360 kg/m^3 cementtel (80 kg/m^3 pernye kiegészítőanyag adagolás esetén 328 kg/m^3 cementtel), 16 mm legnagyobb szemnagyságú homokos kavics adalékanyaggal, 2 térfogat% alatti friss beton levegőtartalommal készített betonok esetén a következő klorid-diffúziós együtthatókat mérte:

- CEM I 32,5 R portlandcement esetén: $D_{Cl} = 10{,}5 \cdot 10^{-12}$ m^2/s
- CEM I 32,5 R portlandcement + 24 tömeg% pernye adagolása esetén: $D_{Cl} = 7{,}7 \cdot 10^{-12}$ m^2/s
- CEM III/A kohósalakcement esetén: $D_{Cl} = 3{,}1 \cdot 10^{-12}$ m^2/s
- CEM III/B kohósalakcement esetén: $D_{Cl} = 2{,}2 \cdot 10^{-12}$ m^2/s

A kohósalakcement klorid-behatolással szembeni nagyobb ellenállása nem csak a tömörebb szövetszerkezetnek, hanem a kohósalakcementkő fokozott adszorpciós (felületi) kloridion-megkötőképességének, és ezzel a diffúzióhoz szükséges koncentráció-gradiens csökkenésének is következménye.



6. ábra: Különböző kötőanyagú, 56 napos korú betonok klorid-diffúziós együtthatója a víz-cement tényező függvényében (*Dahme*, 2006)

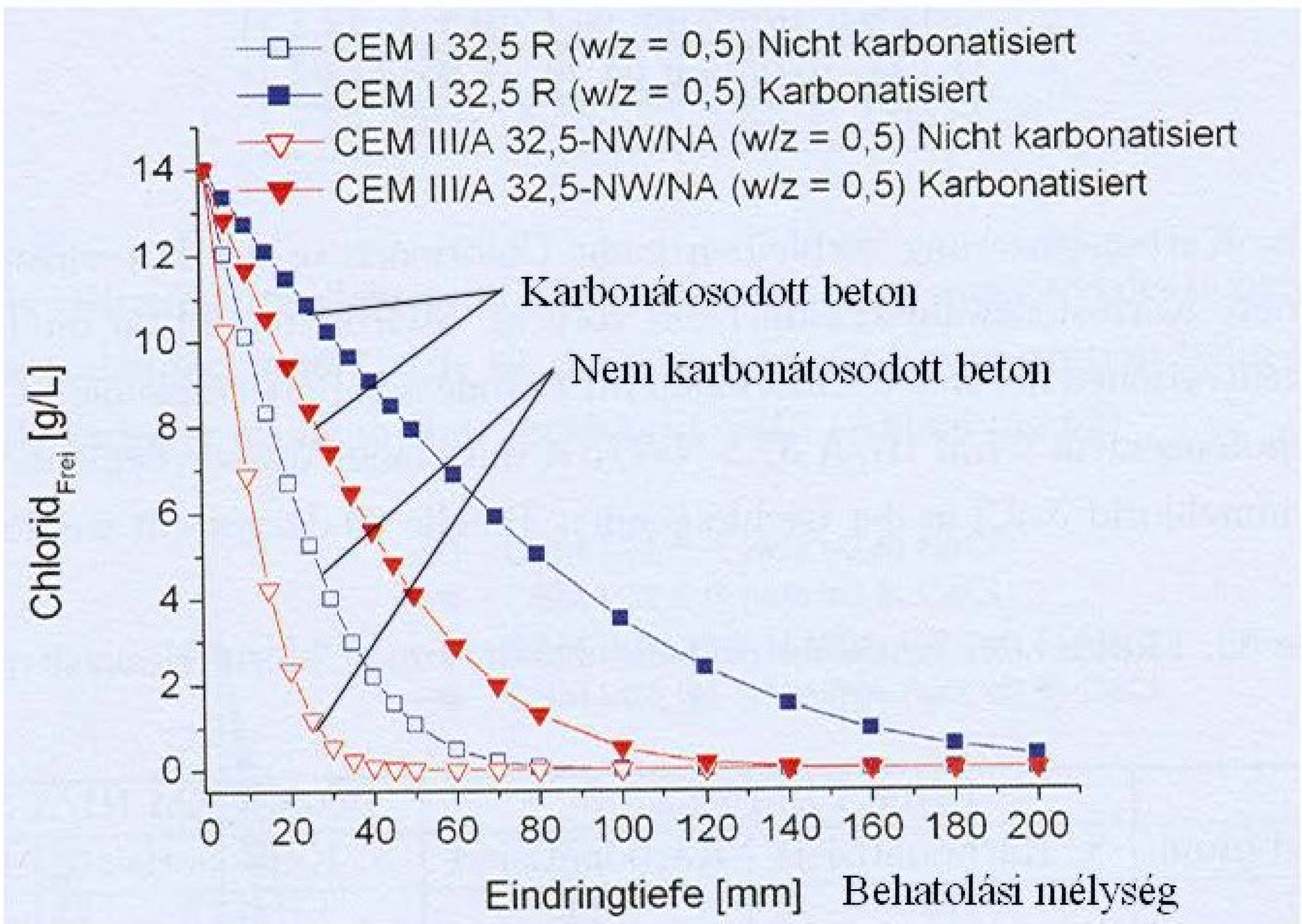
Kísérleti eredményeivel *Kopecskó K.* (2006) is igazolta, hogy a kohósalakcement sóállósága lényegesen jobb, mint a portlandcementé.

Őrölt granulált kohósalak vagy pernye kiegészítőanyag adagolása portlandcement-betonhoz a szövetszerkezetet – a puccolános reakció folytán képződő kalcium-szilikát-hidrát fázis – tömörebbé teszi. A pernye azért is növeli a beton diffúziós ellenállását, mert a pernye szemcsék felületén vagy annak közelében képződő reakció-termékek a pórusrendszer folytonosságát megtörik. A kapilláris-pórustérfogat számottevően nem csökken, de bizonyos pórusrészek átjárhatósága megszűnik. Ezáltal a kloridion-behatolás a cementkőben lecsökken. Az ajánlott pernyeadagolás legalább 60 kg/m^3 (*Sprinenschmid*, 2007).

A cement-tartalom növelése a klorid-behatolást csökkenti. Adott víz-cement tényező mellett növekvő cement-tartalom a diffúziós együttható csökkenését vonja maga után. Zsaluzott felület közelében nagyobb a péptartalom és kisebb a diffúziós együttható. Hasonlóképpen elképzelhető, hogy az acélbetét felülete mentén feldúsuló péptartalom is fokozott diffúziós ellenállást eredményez az acélbetét körül.

A kisebb víz-cement tényező kisebb porozitást eredményez, és kisebb klorid-behatolást tesz lehetővé (*Erdélyi*, 1998). Ha a 0,6 értékű víz-cement tényezőhöz tartozó diffúziós együttható 100%, akkor a 0,5 értékű víz-cement tényezőhöz mintegy 45%-os, a 0,4 értékű víz-cement tényezőhöz mintegy 20%-os diffúziós együttható tartozik.

Az adalékanyag szemmegoszlási görbéje a kedvező I. osztályú (A-B) tartományban fusson. Növekvő legnagyobb szemnagysággal növekszik a klorid-behatolási mélység: ha a legnagyobb szemnagyság 8 mm-ről 16 mm-re nő, akkor a klorid mintegy 2,1-szer mélyebbre, ha 32 mm-re nő, akkor mintegy 3,0-szor mélyebbre hatol a betonba.
A cement hidratációs fokának növekedése, más szóval a szilárduló beton utókezelési idejének növelése csökkenti a klorid-behatolási mélységet.
Ha a hőmérséklet 15 °C-ról 25 °C-ra növekszik, akkor a diffúziós együttható kétszeresére nő (*Wesche*, 1993). *Kopecskó K.* (2006) PhD. értekezésében megállapította, hogy a gőzölt, megszilárdult betonok az olvasztósó roncsoló hatásának jobban ellenállnak, mint a természetesen szilárdított betonok; és hogy a 90 °C hőmérsékleten végzett gőzölés több kloridiont köt meg a cementkőben, mint a 60 °C-on végzett gőzölés.
A lehúzott betonfelületen mélyebbre hatolnak a kloridionok, mint a zsaluzott betonfelületen.
Növekvő repedés-tágassághoz mélyebb klorid-behatolás tartozik. Klorid-behatolás szempontjából a vízszintes felületen lévő repedések a függőleges felületen lévőknél veszélyesebbek. Megfelelően tömör és vastag betonfedés esetén a 0,4 mm-nél kevésbé tág repedések általában nem rontják a beton tartósságát.
A karbonátosodott beton víz és klorid-oldat felszívása a várakozással ellentétben – hiszen porozitása kisebb – gyorsabb, mint a nem karbonátosodott betoné. A jelenség oka valószínűleg a klorid-tartalmú hidratációs fázisok szétesése a karbonátosodás hatására. A szabad kloridionok mennyisége (szabad klorid-koncentráció) a pórusvízben a karbonátosodás mértékével növekszik és a behatolási mélység növekedésével csökken (*7. ábra*).



7. ábra: Szabad klorid mennyisége (szabad klorid-koncentráció) a pórusvízben a karbonátosodás mértéke és a behatolási mélység függvényében (*Dahme*, 2006)

- A szabadban, de esőnek kitett helyen lévő, vízzel telített beton lassabban karbonátosodik, mint az esőtől védett helyen, mert a vízzel telített pórusokba a CO_2-gáz nehezebben vagy egyáltalán nem diffundál. Ebből kifolyólag a víz alatt lévő beton karbonátosodása is nagyon lassú.
- A – például villamos vagy metró forgalom kiváltotta – kóboráram polarizálhatja az acélbetét és feszítőbetétet, ami az acélkorrózió felléptét előmozdítja.

A kalcium-klorid-oldat diffúziós együtthatója mintegy kétszerese, a magnézium-klorid-oldat diffúziós együtthatója mintegy három-négyszerese a nátrium-klorid-oldat diffóziós együtthatójának (*Wesche*, 1993).

Springenschmid (2007) szerint a nagymértékű klorid-behatolás ellen a megfelelő cement alkalmazásán kívül tartósan a következőképpen lehet védekezni, mint például tengeri hídpillérek estén:

- nagyobb betonfedés vagy külső kéreg (Vorsatzschale) alkalmazása;
- $x \leq 0{,}4$ víz-cement tényező alkalmazása;
- nagy kohósalaktartalmú kohósalakcement vagy nagy pernyetartalmú portlandcement alkalmazása;
- kis C_3A-tartalmukra tekintettel kerülni kell a szulfátálló cementek és kishőfejlesztésű cementek alkalmazását;
- vakuumbeton vagy kisebb hatékonysággal ugyan, belső, vízelvezető- vagy vízszívó-réteggel ellátott zsaluzat (Schalungseinlage) alkalmazása;
- hosszabb utókezelési idő alkalmazása, különösen kohósalakcement esetén;
- drága voltuk ellenére kifizetődő lehet a felület-közeli vasalás rozsdamentes betonacélból való készítése. Ajánlott a kloridkorrózionak jól ellenálló 1.4571 és 1.4462 anyagszámú (Werkstoffnummer) hidegen szilárdított X6CrNiMoTi 17-12-2 és X2CrNiMoN 222-5-3 betonacél alkalmazása, amelyet 6-14 mm átmérővel gyártanak;
- előfeszített vasbeton elemek esetén fontos a kloridtartalmú vizek távoltartása a szerkezettől.

Klorid-behatolással és az XD2 környezeti osztállyal kapcsolatos szabályozások

e-UT 07.01.14 (ÚT 2-3.414:2004) útügyi műszaki előírás

Az e-UT 07.01.14 (ÚT 2-3.414:2004) ügyi műszaki előírás M8.1. táblázata szerint az acélbetét korróziója szempontjából

- a < 700 mg/liter kloridion-tartalmú folyadék nem agresszív,
- a 700-3000 mg/liter közötti kloridion-tartalmú folyadék gyengén agresszív,
- a > 3000 mg/liter kloridion-tartalmú folyadék erősen agresszív.

MSZ EN 1992-1-1:2010 európai szabvány

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának (12) bekezdése szerint, „ha a beton várhatóan fagyási/olvadási vagy kémiai hatásnak lesz kitéve (XF és XA környezeti osztály), akkor a betonösszetételre különös figyelmet kell fordítani (lásd az EN 206-1 szabvány 6. fejezetét). Ilyen esetekben a 4.4. szakasz szerinti betonfedés elegendő.”

Megjegyezzük, hogy ez a rendelkezés elnagyolt, és ebben a formában a betonfedést illetően nem követhető. Kémiai hatás a klorid-hatás is, amelynek kitett betonok az XD1 – XD3, illetve XS1 – XS3 környezeti osztály valamelyikébe sorolandók, amelyeket a szabvány 4.4.N és 4.5.N táblázatában nevesítenek is. A betonfedés szükséges értéke bizonyára nem csak az XD és XS, hanem az XA környezeti osztályok esetén is függ a ható közeg agresszivitásának

mértékétől, az XF környezeti osztályok esetén pedig a fagy- és olvasztósó-hatás jellegétől. A betonfedés mértékét valamennyi, az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabványban fel nem sorolt környezeti osztály, így az XF és XA környezeti osztályok esetén is az MSZ 4798:2016 szabvány szerint kell meghatározni.

MSZ EN 934-1:2008 és MSZ EN 206:2014 európai szabvány

Az MSZ EN 934-1:2008 szabvány 1. táblázata szerint az adalékszer összes klórtartalma legfeljebb 0,1 tömeg%, és vízoldható klorid-tartalma legfeljebb 0,1 tömeg% szabad legyen. Ha az összes klórtartalom vagy a vízoldható klorid-tartalom $\leq$ 0,1 tömeg%, akkor az adalékszert kloridmentesnek szabad megjelölni.

A kloridmentesség fogalmát illetően helytálló a visszavont MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.2.6. szakaszának megfogalmazása is, amely szerint az adalékszer az alkalmazástól függően akkor tekinthető kloridmentesnek,

- ha a halogén elemek mennyisége (a fluort kivéve) az adalékszerben kloridion egyenértékben számolva legfeljebb 0,2 tömeg% vasbeton szerkezet esetén, és legfeljebb 0,1 tömeg% feszített vasbeton szerkezet esetén;
- illetve, ha az adalékszer megengedett legnagyobb adagjának kétszeresét alapul véve az adalékszerrel a betonba a cementre számítva legfeljebb 0,002 tömeg%, azaz legfeljebb 2 g Cl-/(100 kg cement) kloridion kerül.

Az MSZ EN 206:2014 szabvány 15. táblázata értelmében az acélbetéteket tartalmazó friss beton klorid-tartalma a cement tömegszázalékában kifejezve legfeljebb 0,2 tömeg%, a feszítőbetéteket tartalmazó friss beton klorid-tartalma a cement tömegszázalékában kifejezve legfeljebb 0,1 tömeg% legyen, ha a betont nedvesség is éri. A szabvány 5.2.8. szakaszának (2) bekezdése szerint kalcium-kloridot és klorid alapú adalékszereket nem szabad acélbetéteket, előfeszített acélokat vagy más beágyazott fémet tartalmazó betonhoz adagolni.

Az MSZ EN 206:2014 honosított európai szabvány 11. fejezetének (1) bekezdésében példaként szerepel az XD2(F) jel, de a szövegből kiderül, hogy ez nem arra utal, hogy a francia szabvány szerinti XD2 környezeti osztály eltér az európai szabvány szerintitől, hanem azt mutatja be, hogy miként kell a környezeti osztályt jelölni, ha a betont például Franciaországból, a francia előírásokat alkalmazva exportálják. Így érthetővé válik az is, hogy az ILNAS EN 206-1:2000/DNA-LU:2011 luxemburgi nemzeti alkalmazási dokumentumba az XD2(F) helyett miért írtak XD2(L)-t.

A nemzetközileg jóváhagyott gépkocsi-országjel ilyen alkalmazása teljesen eltér a hazai alkalmazástól, amellyel az európai szabványtól eltérő magyar szabályozásra hívjuk fel a figyelmet akkor, ha ilyen van: „Ha a beton MSZ 4798:2016 szabvány szerinti tulajdonsága eltér az MSZ EN 206:2014 szabvány szerinti tulajdonságtól, vagy pótolja az MSZ EN 206:2014 szabványból hiányzó tulajdonságot, akkor az MSZ 4798:2016 szabvány szerint a beton tulajdonságának jelében szerepeltetni kell Magyarország rövidített országnevét zárójelben, például, XA4(H), AC_{50}(H); vagy indexben, például: $f_{ck,cube,H}$.”

Ezek alapján azt kell mondanunk, az MSZ EN 206:2014 szabványban az XD2(F) jelölés szerepeltetése példaként elhibázott és félrevezető, ugyanis a Franciaországból exportált XD2 környezeti osztályú beton nem a francia, hanem az európai előírásokat követi, hiszen a francia szabvány szerinti XD2 környezeti osztály semmiben sem tér el az európai szabvány szerintitől.

NF EN 206/CN:2014 francia szabvány (CN, **C**omplément **N**ational = nemzeti kiegészítés, a francia nemzeti alkalmazási dokumentum jelölése)

Az NF EN 206/CN:2014 francia szabvány, amely az EN 206 szabványnak a francia nemzeti alkalmazási dokumentummal egységes szerkezetbe foglalt változata, 2014 decembere óta érvényes.

Mint fenn említettük, az XD2 környezeti osztály követelményei az NF EN 206/CN:2014 francia szabványban, illetve nemzeti alkalmazási dokumentumában nem térnek el az EN 206:2012 szabványbeli követelményektől, a francia szabvány nemzeti alkalmazási dokumentumában XD2(F) környezeti osztály nem található.

SN EN 206-1/NE:2013 és SIA 262/1:2013 svájci szabvány (NE, **N**ationale **E**lemente = a svájci nemzeti alkalmazási dokumentum jelölése)

A 2014. január 1 óta érvényes svájci SN EN 206-1/NE:2013 szabvány az EN 206 szabványnak a svájci nemzeti alkalmazási dokumentummal egységes szerkezetbe foglalt változata.

Az SN EN 206-1/NE:2013 szabvány az XD2 környezeti osztályt két környezeti osztályra, az XD2a(CH) és az XD2b(CH) környezeti osztályra osztja, és ezt követi a SIA 262:2013 svájci szabvány is. Az SN EN 206-1/NE:2013 szabvány az európai szabvány 4.1 szakaszához nemzeti függeléket (NA, **N**ationaler **A**nhang) csatol (4.1/NA), amely szerint az XD2a(CH) környezeti osztályba azok a betonok tartoznak, amelyek környezetében a kloridtartalom $\leq$ 500 mg/liter (édesvíz), az XD2b(CH) környezeti osztályba pedig azok a betonok, amelyek környezetében a kloridtartalom tartósan > 500 mg/liter (sós víz). Az XD2a(CH) környezeti osztályt kell alkalmazni például az uszodák többsége, az XD2b(CH) környezeti osztályt például a sós fürdők vagy kloridtartalmú ipari szennyvizekkel érintkező szerkezeti elemek esetén.

Az XD2 környezeti osztály kettéosztása voltaképpen azt jelenti, hogy Svájcban az XD2a(CH) környezeti osztályú betonokra az XD1 környezeti osztály, az XD2b(CH) környezeti osztályú betonokra az XD3 környezeti osztály követelményei vonatkoznak (a megengedett legnagyobb víz-cement tényező az eredeti kettéosztott XD2 környezeti osztályhoz tartozó 0,50 helyett 0,45). Ennek következtében az SN EN 206-1/NE:2013 szabványnak a környezeti osztályok követelményeit bemutató NA.2 táblázatában XD2(CH) környezeti osztály nem is található.

A svájci betonszabványban valamennyi XD környezeti osztályú beton készítéséhez – így az XD2(CH) környezeti osztályú beton készítéséhez is – csak a CEM II/B-LL mészkőportlandcement alkalmazását tiltják meg, de az XD2(CH) és XD3 környezeti osztály esetén előírják a SIA 262/1:2013 szabvány B melléklete szerinti CW (Chloridwiderstand) klorid-migráció vizsgálat elvégzését.

Az SN EN 206-1/NE:2013 szabvány NA.9 táblázata szerint

- az XD1 és XD2a(CH) környezeti osztályban a SIA 262/1:2013 szabvány I melléklete szerint vizsgált karbonátosodási tényező
  - átlag értéke $K_N \leq 5{,}0$ mm/$\sqrt{\text{év}}$, legnagyobb értéke $K_N \leq 5{,}5$ mm/$\sqrt{\text{év}}$ legyen, ha a beton tervezési élettartama 50 és a társított környezeti osztály XC3 vagy XC4;
  - átlag értéke $K_N \leq 4{,}0$ mm/$\sqrt{\text{év}}$, legnagyobb értéke $K_N \leq 4{,}5$ mm/$\sqrt{\text{év}}$ legyen, ha a beton tervezési élettartama 100 és a társított környezeti osztály XC3;
  - átlag értéke $K_N \leq 4{,}5$ mm/$\sqrt{\text{év}}$, legnagyobb értéke $K_N \leq 5{,}0$ mm/$\sqrt{\text{év}}$ legyen, ha a beton tervezési élettartama 100 és a társított környezeti osztály XC4;

- az XD2b(CH) és XD3 környezeti osztályban a SIA 262/1:2013 szabvány B melléklete szerint vizsgált klorid-migrációs tényező átlag értéke $D_{cl} \leq 10 \cdot 10^{-12}$ m^2/s, legnagyobb értéke $D_{cl} \leq 13 \cdot 10^{-12}$ m^2/s legyen.

Megjegyzés: A klorid-migráció és a klorid-diffúzió az ionokat mozgató erő szempontjából nem feltétlenül ugyanaz a jelenség (*Qiang Yuan*, 1995-1999).

Ha a víz kloridtartalma (Cl^-) > 500 mg/liter, azaz a beton az XD2b(CH) környezeti osztályba tartozik, akkor a SIA 262:2013 svájci szabványban vasbeton esetén legalább 55 mm, feszített vasbeton esetén legalább 65 mm c_{nom} névleges betonfedést írnak elő, amely 5 mm-rel több, mint az S4 szerkezeti osztályban az MSZ EN 1992-1-1:2010, illetve az MSZ 4798:2016 szerinti XD2 környezeti osztályban alkalmazandó c_{nom} névleges betonfedés. Ugyanez a betonfedés szerepel a Cemsuisse-Merkblatt MB 02:2016 svájci műszaki irányelvben is.

Cemsuisse-Merkblatt MB 01:2010 svájci műszaki irányelv

A svájci Cemsuisse-Merkblatt MB 01:2010 műszaki irányelv 4.3.1 szakasza szerint az XAA(CH) környezeti osztályban csak az XD3(CH) környezeti osztályban engedélyezett cementfajták alkalmazhatók. Ha a betont fagy és fagy-olvasztó só hatás is éri, akkor csak az SN EN 206-1:2006 szabvány NA.3 táblázatának szóban forgó XF környezeti osztályában engedélyezett cementfajtákat szabad felhasználni. Ha a szennyvíz átlagos szulfát-tartalma (SO_4^{2-}) nagyobb, mint 600 mg/liter, akkor az SN EN 197-1:2011 szabvány szerinti nagy szulfátállóságú cementtel kell a betont készíteni.

DIN 4030-1:2008 német szabvány

A DIN 4030-1:2008 szabvány bevezetése szerint a klorid-behatolás csökkenti a betonfedés acélbetét-korrózióvédő hatását. Az oxigénhiányos és száraz környezetben a kritikus értéknél nagyobb kloridtartalom sem okoz acélbetét korróziót, és ez a megállapítás az oxigénhiányra tekintettel a tartósan víz alatt lévő betonokra is érvényes. A kloridok szilárd betonba való behatolásának sebessége a behatoló oldat kloridtartalmán kívül a beton tömörségének a függvénye. A beton – az acélbetét korrózióját okozó – kritikus kloridtartalma a környezeti feltételektől, a beton összetételétől és tömörségétől függően tág határok között ingadozhat. A repedések környezetében nagyobb az acélbetét korróziójának veszélye, különösen akkor, ha a repedéseken keresztül kloridtartalmú víz folyik az acélbetéthez, például parkolóházak födémeinek egyenlőtlen keresztmetszeti hőmérséklet okozta, korai, felületi vagy átmenő hasadási repedésein – Spaltrisse (*Grübl* et al., 2001) vagy más néven, főképp, ha a repedés átmenő és a keresztmetszet mentén egyenletes tágasságú, ún. H-alakú: Trennrisse (*Springenschmid*, 2007) – keresztül.

A szabvány 5.2.2 szakaszának (4) bekezdése szerint a természetes vizekben előforduló kloridok a betont kémiailag nem támadják meg.

A DIN 4030-1:2008 szabvány 4. táblázata azonos az MSZ EN 206:2014 szabvány 2. táblázatával, illetve ennek forrása.

A DIN 4030-2:2008 szabvány a természetes vizek és talajok klorid-tartalmának meghatározásával is foglalkozik.

Corrosion Guidelines. Version 2.1". Caltrans, kaliforniai műszaki irányelv, 2015.

A Kaliforniai Közlekedési Minisztérium mérnöki anyagok és vizsgálatok szolgálatának korróziós műszaki irányelve szerint

- a vasbeton szerkezetekre nézve korróziós veszélyt jelent, ha a talaj és/vagy talajvíz klorid-koncentrációja az 500 mg/liter, szulfát-koncentrációja a 2000 mg/liter értéket eléri, vagy pH-ja az 5,5 érték alá csökken. A sós vizek, talajok vagy jégmentesítő sók kloridionjai az acélbetét felületén lebontják a passzív oxid-réteget (6.1. szakasz);
- az alapok és geotechnikai szerkezetek betonfedésének tervezése során a legalább 500 mg/liter klorid-koncentrációjú víz hatását nem csak akkor kell figyelembe venni, ha a betonnal érintkezik, hanem már akkor is, ha attól legfeljebb 305 m (1000 ft, láb) távolságra van (például tengerparton vagy apály-dagály esetén, 7.2. szakasz);
- a mechanikailag stabilizált töltések, gátak (MSE, Mechanically Stabilized Embankment) anyagának klorid-koncentrációja kisebb kell legyen, mint 250 mg/liter (8.1 szakasz;
- az acélbetét korróziója szempontjából nem veszélyes, ha a megszilárdult beton klorid-tartalma < 700 mg/liter; veszélyes, ha 700 – 1800 mg/liter; igen veszélyes, ha > 1800 mg/liter (11.3. szakasz, 11.1 táblázat);
- az epoxi-gyantával bevont betonacél (ECR, Epoxy-coated Reinforcing Steel) lila vagy szürke színű változata alkalmas az 500 mg/liter feletti klorid-koncentrációjú vízzel közvetlenül érintkező vasbetonok vasalására. Az epoxi-gyantával bevont betonacélt általában nem alkalmazzák, ha csak a talaj agresszív (12.2. szaksz).

Javaslat az MSZ 4798:2016 szabvány XD2(H) környezeti osztályának feltételeire és követelményeire

Az agresszív vízzel (talajvízzel, egyéb természetes vízzel, szennyvízzel vagy egyéb agresszív folyadékkal) érintkező vasbeton vagy feszített vasbeton szerkezet betonját akkor kell XD2 környezeti osztályba sorolni, ha az agresszív víz kloridtartalma (Cl^-) > 500 mg/liter.

Ha az agresszív víz kloridtartalma (Cl^-) > 500 mg/liter és ≤ 1000 mg/liter közé esik, akkor

- a vasbeton szerkezet betonjának kötőanyaga
  - vagy legalább CEM III/A fajtájú kohósalakcement legyen,
  - vagy CEM II/B-M(S-V) fajtájú kompozit-portlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 11 tömeg% szilikapor adagolandó;
- a feszített vasbeton szerkezet betonjának kötőanyaga
  - vagy CEM III/B fajtájú kohósalakcement legyen,
  - vagy CEM II/B-V fajtájú pernyeportlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 11 tömeg% szilikapor adagolandó.

Ha az agresszív víz kloridtartalma (Cl^-) > 1000 mg/liter, akkor

- a vasbeton szerkezet betonjának kötőanyaga
  - vagy CEM III/B fajtájú kohósalakcement legyen,
  - vagy CEM II/B-V fajtájú pernyeportlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 11 tömeg% szilikapor adagolandó;

- a feszített vasbeton szerkezet betonjának kötőanyaga
    - vagy CEM III/B fajtájú kohósalakcement legyen,
    - vagy CEM II/B-V fajtájú pernyeportlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 11 tömeg% szilikapor adagolandó.

Ha a > 500 mg/liter és ≤ 1000 mg/liter közötti kloridtartalmú agresszív víznek ≥ 200 mg/liter szulfáttartalma (SO_4^{2-}) is van, akkor

- a vasbeton szerkezet betonjának kötőanyaga
    - vagy CEM I-SR 3 szulfátálló portlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 11 tömeg% szilikapor adagolandó,
    - vagy CEM I-SR 3 szulfátálló portlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 20 tömeg% pernye adagolandó,
    - vagy CEM III/B-SR azulfátálló kohósalakcement legyen.
- a feszített vasbeton szerkezet betonjának kötőanyaga
    - vagy CEM I-SR 0 szulfátálló portlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 11 tömeg% szilikapor adagolandó,
    - vagy CEM I-SR 0 szulfátálló portlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 20 tömeg% pernye adagolandó,

Ha a > 1000 mg/liter kloridtartalmú agresszív víznek ≥ 200 mg/liter szulfáttartalma (SO_4^{2-}) is van, akkor

- a vasbeton szerkezet betonjának kötőanyaga
    - vagy CEM I-SR 0 szulfátálló portlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 11 tömeg% szilikapor adagolandó,
    - vagy CEM I-SR 0 szulfátálló portlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 20 tömeg% pernye adagolandó,
- a feszített vasbeton szerkezet betonjának kötőanyaga
    - CEM I-SR 0 szulfátálló portlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 20 tömeg% pernye adagolandó.

1. MEGJEGYZÉS: A kötőanyagkeverék (cement és külön adagolt kiegészítőanyag) szabványos szilárdságát mindig ellenőrizni kell.

2. MEGJEGYZÉS: A talajvíz és természetes víz kloridtartalmát az MSZ 18094-11:1979 szerint, a szennyvizek és egyéb agresszív vizek kloridtartalmát az MSZ 260-6:1977 vagy az MSZ EN ISO 10304-1:2009 szerint kell meghatározni.

3. MEGJEGYZÉS: A CEM III/B fajtájú nagy kohósalakcement jó kloridzáró és jó szulfátálló, de lassúbb szilárdulása miatt mérlegelni kell, hogy alkalmazásával érdemes-e XD2 környezeti osztályú feszített vasbeton szerkezetet készíteni.

4. MEGJEGYZÉS: Ha az agresszív víz kloridtartalma (Cl^-) > 1500 mg/liter, akkor a cementekre vonatkozó fenti előírások betartásán kívül célszerű az XD2 környezeti osztályhoz tartozó legkisebb betonfedés ($c_{min,dur}$) helyett az XD3 környezeti osztályhoz tartozó legkisebb betonfedést alkalmazni (NAD N1. és NAD N2. táblázat).

5. MEGJEGYZÉS: Ha az agresszív víz kloridtartalma (Cl^-) > 3000 mg/liter, akkor a cementekre vonatkozó fenti előírások betartásán kívül a vasbeton vagy feszített vasbeton szerkezetet célszerű XD2 - XV3(H) társított környezeti osztályú vízzáró betonból készíteni, vagy az XD2 környezeti osztályú szerkezetet vízzáró és kémiai korrózióknak is ellenálló szigeteléssel ellátni.

Hivatkozások

Szabványok, előírások, irányelvek, rendelet

2001/2001. (X. 25.) Korm. rendelet „az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről”

Bundesanstalt für Wasserbau. „Merkblatt: Chlorideindringwiderstand”. Német műszaki irányelv. Karlsruhe – Hamburg – Ilmenau, 2004.

Cemsuisse-Merkblatt MB 01:2010 „Betonerosion in Biologiebecken von Abwasserreinungsanlagen”. Svájci műszaki irányelv. Verband der Schweizerischen Cementindustrie. Bern, 2010

Cemsuisse-Merkblatt MB 02:2016 „Merkblatt für Sichtbetonbauten”. Svájci műszaki irányelv. Verband der Schweizerischen Cementindustrie. Bern, 2016

„Corrosion Guidelines. Version 2.1”. Caltrans, California Department of Transportation, Division of Engineering Services, Materials Engineering and Testing Services, Corrosion and Structural Concrete Field Investigation Branch. Sacramento, California, USA, 2015.

DAfStb „Anleitung zur Bestimmung des Chloridgehalts von Beton”. Deutschen Ausschluss für Stahlbeton. Heft 401. Beuth Verlag GmbH. Berlin – Wien – Zürich, 1989.

DBV-Merkblatt. „Chemischer Angriff auf Betonbauwerke. Bewertung des Angriffsgrads und geeignete Schutzprinzipien”. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. Berlin, 2014. Német műszaki irányelv

DIN 4030-1:2008 „Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase. Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte”

DIN 4030-2:2008 „Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase. Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben”

EN 206:2013 „Concrete. Specification, performance, production and conformity”

ILNAS EN 206-1:2000/DNA-LU:2011 „Beton. Teil: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Luxemburgisches Nationales Anwendungsdokument”

MSZ 260-6:1977 „Szennyvizek vizsgálata. Kloridion meghatározása”

MSZ 4798-1:2004 „Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség, valamint az MSZ EN 206-1 alkalmazási feltételei Magyarországon”

MSZ 4798:2016 „Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelőség, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon”

MSZ 18094-11:1979 „Talajkorróziós vizsgálatok. A talaj és a talajvíz klorid-ion tartalmának meghatározása”

MSZ EN 196-2:2013 „Cementvizsgálati módszerek. 2. rész: A cement kémiai elemzése”

MSZ EN 206:2014 „Beton. Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség”

MSZ EN 480-10:2009 „Adalékszer betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. Vizsgálati módszerek. 10. rész: A vízoldható kloridtartalom meghatározása”

MSZ EN 934-1:2008 „Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 1. rész: Közös követelmények”

MSZ EN 1992-1-1:2010 „Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok”

MSZ EN ISO 1158:2000 „Műanyagok. A vinil-klorid homopolimer és kopolimer klórtartalmának meghatározása”

MSZ EN ISO 10304-1:2009 „Vízminőség. Az oldott anionok meghatározása ionkromatográfiával. 1. rész: A bromid, a klorid, a fluorid, a nitrát, a nitrit, a foszfát és a szulfát meghatározása” (ISO 10304-1:2007)

NT Build 492:2000 „Nordtest. CTH Rapid Test for Determination of D in Concrete”.

NF EN 206/CN:2014 „Béton. Spécification, performance, production et conformité. Complément national à la norme NF EN 206”

SIA 262/1:2013 „Betonbau. Ergänzende Festlegungen”. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. Svájci szabvány

SN EN 206-1/NE:2013 „Beton. Festigung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität”

e-UT 07.01.14 (ÚT 2-3.414:2004) „Közúti hidak tervezési előírásai IV. Beton, vasbeton és feszített vasbeton közúti hidak tervezése”. Útügyi műszaki előírás

Irodalom

Bajnóczy Gábor: Fémek korróziója
http://kkft.bme.hu/sites/default/files/KORR%C3%93ZI%C3%93%20LAB.doc

Balázs Gy. – Erdélyi A. – Kovács K.: „A betonacél korróziója kloridok hatására”. Építőanyag, 43. évfolyam, 1991. 6. szám. pp. 202-218.

Balázs Gy.: „Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája I. Általános diagnosztikai vizsgálatok”. Műegyetemi Kiadó. Budapest, 1997.

Biczók I.: „Betonkorrosion – Betonschutz”. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1960.

Benedix, R.: „Bauchemie. Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Atchitekten”. 4. Auflage. Vieweg+Teubner. Wiesbaden, 2008.

Breit, W.: „Untersuchungen zum kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalt für Stahl in Beton”. Aachener Beitr. Bauforsch. ABBF, Bd. 8. Inst. Bauforsch. RWTH. Aachen, 1997.

Dahme, U.: „Chlorid in karbonatisierendem Beton. Speicher- und Transportmechanismen”. Dissertation, Mitteilungen aus dem Institut für Bauphysik und Materialwissenschaft, Universität Duisburg–Essen. Cuvillier Verlag. Göttingen, 2006.

Erdélyi A.: „Nagyteljesítményű cementpépek tartóssága kloridoldatban”. Beton, 1998. április, pp. 8-9.

Fischer, Christian: „Auswirkungen der Bewehrungskorrosion auf den Verbund zwischen Stahl und Beton”. Serie: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 608. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Beuth. Berlin, 2013.

Grübl, P. – Weigler, H. – Karl, S.: „Beton. Arten, Herstellung und Eigenschaften”. Ernst & Sohn Verlag GmbH. Berlin, 2001.

Kopecskó K.: „A gőzölés hatása a cement klinkerek és cementek kloridion megkötő képességére”. PhD. értekezés. BME. Budapest, 2006.

Lohmeyer, G. – Ebeling, K.: „Weiße Wannen – einfach und sicher”. Verlag Bau+Technik GmbH. Düsseldorf, 2009.

Nürnberger, U.: „Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen. Band 1: Grundlagen, Betonbau”. Bauverlag GmbH. Wiesbaden, Berlin, 1995.

Qiang Yuan: „The relationship between chloride diffusion and migration coefficients in concrete”. NT Build 492 (1999-11), NT Build 355 (1997-11), NT Building 443 (1995-11).

Palotás L.: „Mérnöki szerkezetek anyagtana 2. Fa-Kő-Fém-Kötőanyagok”. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.

Rendchen, K. et al.: „Hüttensandhaltiger Zement. Verkehrsbau – Wasserbau – Kanalisation”. Verlag Bau+Technik. Düsseldorf, 2002.

Springenschmid, R.: „Betontechnologie für die Praxis”. Bauwerk Verlag GmbH. Berlin, 2007.

Stark, J. – Wicht, B.: „Dauerhaftigkeit von Beton”. Springer Verlag. Berlin – Heidelberg, 2013.

Thienel, K.-Ch.: „Werkstoffe des Bauwesens Dauerhaftigkeit von Beton”. Institut für Werkstoffe des Bauwesens Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Bundeswehr Universität München, 2011.

Wesche, K.: „Baustoffe für tragende Bauteile. Band 2: Beton, Mauerwerk (Nichtmetallisch-anorganische Stoffe) Herstellung, Eigenschaften, Verwendung, Dauerhaftigkeit”. 3. Auflage. Bauverlag GmbH. Wiesbaden und Berlin, 1933.